

# обзор

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР



## **Лабораторные и технологические исследования и обогащение минерального сырья**

**МАЛООБЪЕМНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ  
ОПРОВОБОВАНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ  
ТАНТАЛО-НИОБИЕВЫХ И ОЛОВЯННЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**МОСКВА — 1984**

УДК 622.7:550.8

Кушпаренко И.С. Малообъемное технологическое опробование и картирование тантало-ниобиевых и оловянных месторождений. - М., 1984, 47 с., ил. - (Лаб. и технол. исслед. и обогащ. минер. сырья. Обзор/ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ. ВИЭМС). - Библиогр.: с. 45-47 (21 назв.).

Малообъемное технологическое опробование и картирование рудных месторождений позволяет на ранних стадиях геологоразведочных работ провести объективную разведку многочисленных рудопоявлений, на более поздних - определить изменчивость вещественного состава, технологических свойств руд и их взаимосвязь и на завершающих стадиях разведки геометризовать рудные тела с различными технологическими свойствами.

Для месторождений тантало-ниобиевых и оловянных руд с весьма разнообразным составом основных и попутных минералов проведение малообъемного технологического опробования и картирования является существенным фактором обеспечения оптимальной разведанности месторождения, отбора достоверных лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных проб, определения основных направлений создания оптимальной технологии переработки руд и организации полупромышленных испытаний.

В обзоре рассмотрен опыт малообъемного технологического и геолого-минералогического опробования и картирования редкометаллических и оловянных месторождений, определены основы наиболее рациональной организации этих работ на новых объектах.

Обзор предназначен для геологов, горняков и технологов, занимающихся поисками, разведкой и промышленной отработкой месторождений тантало-ниобиевых и оловянных руд.

#### Редакционная коллегия

В.И. Кузьмин (председатель), Н.С. Квитная (отв. секретарь),  
Л.А. Коперуба, В.П. Кузнецов, С.И. Лебедева, Л.Н. Любимова,  
Н.Н. Поляков (зам. председателя), Д.В. Попов (зам. председателя),  
Г.А. Сидоренко, И.В. Соколов

#### ЛАБОРАТОРНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОГАЩЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Обзорная информация

Москва

1984

Издается с 1969 г.  
УДК 622.7:550.8

И.С. Кушпаренко  
(БГТЭ ИМГРЭ)

#### МАЛООБЪЕМНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ ТАНТАЛО-НИОБИЕВЫХ И ОЛОВЯННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

#### В в е д е н и е

Использование малообъемного технологического опробования и картирования (МТОК) позволяет повысить эффективность и достоверность разведки рудных месторождений, а также усовершенствовать в дальнейшем их промышленную отработку. Для тантало-ниобиевых и оловянных руд, объединяемых единством основного процесса извлечения ценных минералов - стадийным гравитационным обогащением, накоплен интересный, во многом оригинальный опыт проведения МТОК. Обобщение и анализ этого опыта должен способствовать повышению качества выполнения МТОК рудных месторождений.

В обзоре рассмотрены следующие вопросы:

- 1) сущность двух видов МТОК: малообъемного технологического опробования (МТО) и технологического картирования (ТК) месторождений;
- 2) оптимальный по оперативности, затратам труда и времени и достоверности способ получения информации о технологических свойствах руд;

1981

1981

- 3) упрощение создания схем обогащения с целью ускорения начала МТОК;
- 4) критерии характеристики руды и ее технологических свойств;
- 5) сопоставимость технологических показателей обогащения проб руды существенно разного вещественного состава;
- 6) определение относительной измельчаемости руд;
- 7) оценка достоверности результатов МТОК;
- 8) обработка результатов исследований проб.

Общие специфические особенности и виды  
малообъемного технологического опробования  
редкометаллических и оловянных месторождений

Малообъемное технологическое опробование и картирование включает в себя два вида технологического опробования, имеющих существенные различия [5, II].

Малообъемное технологическое опробование (МТО) по сравнению с другими видами технологических исследований проводят на самых ранних стадиях геологоразведочных работ. При этом изучаются пробы, представляющие предварительно выделенные природные (геологические) типы руд для предварительной оценки технологических свойств, наличия технологических типов и сортов и их связи с основными параметрами вещественного состава. МТО не только предшествует технологическому картированию по времени, но в значительной мере определяет необходимость и методику проведения его на данном объекте.

Технологическое картирование (ТК) проводится с целью уточнения наличия различных технологических сортов и типов руд на месторождениях, определяющих их параметры вещественного состава, а также для геометризации в объеме месторождения технологических типов и сортов. В табл. I приведены общие и отличительные признаки МТО и ТК рудных месторождений.

В практике изучения технологических свойств новых рудных объектов возникли три разновидности малообъемного технологического опробования: предварительное МТО, собственно МТО (по табл. I) и МТО с элементами ТК, достаточно тесно связанных с конкретными стадиями геологоразведочных работ на месторождении.

На самых ранних стадиях геологоразведочных работ на месторождении (обычно при детальных поисках) проводится предваритель-

Т а б л и ц а I  
Существенные признаки малообъемного технологического опробования (МТО) и технологического картирования (ТК) месторождений олова, тантала, ниобия, циркона

Признаки	МТО	ТК	Примечания
	1	2	3
	<u>Общие или близкие признаки</u>		
Способ получения основной информации	Обогащение каждой пробы по упрощенной схеме, учитывающей основные общие качественные характеристики вещественного состава руд месторождения		При МТО часто вы- бирают по анало- гии или априори, при ТК - в основном по дан- ным исследования минералого-тех- нологических и лабораторных проб
Глубина обогаще- ния	Обычно до получения черно- вых концентратов		При МТО возможна доводка черновых концентратов характерных или средних по типам или сортам проб
Масса проб	Первые десятки килограммов		Для МТО до 30 кг, для ТК до 15 кг
Требование к ре- зультатам обога- щения разных проб	Сопоставимость (обычно за счет получения концентратов близкого качества или графо- аналитической обработки экс- периментальных данных)		-
Требование к схемам, методам, аппаратам и режимам обога- щения	Обеспечение достоверных и ста- бильных показателей при изме- нении количественных параметров единого качественного вещест- венного состава руд		-
	<u>Отличительные признаки</u>		
Цель работы	Предварительная оценка техноло- гических свойств, связи их с при- родными типами руд, необходи- мость и методи- ка ТК	Выделение и геометризация на месторос- щении тел и эксплуатацион- ных участков с рудами раз- ных технологи- ческих типов и сортов	-

1951

Окончание табл. I

1	2	3	4
Требование к отбору проб	Соответствие предварительного определенным признакам (параметрам вещественного состава) природных типов руд	Равномерное представление всего объема руд месторождения - отбор по строго определенной сети	Заранее заданный состав проб для МТО, служебный состав проб для ТК
Число и вид проб	Десятки, минералого-технологические	Первые отбиты, малые технологические	-
Последовательность реализации	Предшествует ТК	После завершения МТО	Результаты МТО предопределяют целесообразность и методику ТК
Рекомендуемые стадии геолого-разведочных работ	Детальные поиски и поисково-оценочные работы. Предварительная разведка. Разведка в пределах горного отвода для новых рудных тел. Эксплуатационная разведка - опережающая оценка очистных блоков	Предварительная, детальная (до отбора полупромышленных проб) разведка. Разведка в пределах горного отвода для новых рудных тел	-
Оценка технологических свойств, их изменчивости, связи с вещественным составом, условиями образования	Предварительная	Окончательная	-
Размещение руд с различными технологическими свойствами в объеме месторождения	Не определяется	Устанавливается	-

ное МТО на единичных пробах, отобранных по выявленному рудопроявлению или, если это возможно, по природным типам руд. Небольшое число исследуемых проб (1-5 шт.) не позволяет выявить при предварительном МТО зависимости технологических свойств от параметров вещественного состава руд данного объекта. Однако предварительная оценка пригодности руд для промышленной переработки возможна, что имеет немаловажное значение для решения вопроса о дальнейшей разведке данного рудного объекта. Так, предварительное МТО рудопроявлений и месторождений нового оловорудного района позволило оценить возможность промышленного использования разных объектов с точки зрения технологических свойств руд, выделить наиболее перспективные объекты для дальнейшей разведки, отбраковать бесперспективные и, наконец, предложить геолого-минералого-технологическую классификацию для прогнозирования технологических свойств новых рудных объектов района по их генезису и данным минералогического изучения руд [9].

Практика технологического опробования месторождений не всегда позволяет провести четкую границу между МТО и ТК, так как по мере развития геолого-разведочных работ имеет место не дискретный, а непрерывный переход МТО в ТК. При изучении некоторых редкометалльных оловянных месторождений возник вид работ, который может быть назван "малообъемным технологическим опробованием с элементами картирования". При этом число отбираемых для МТО проб существенно превышает количество выделяемых на месторождении природных типов за счет опробования различно расположенных в объеме месторождения руд. В результате появляется возможность предварительной оценки изменчивости технологических свойств руд в зависимости от их местоположения (в плане и на глубину месторождения). Кроме того, неизбежное увеличение числа проб дает возможность статистической обработки результатов изучения их и, тем самым, повышения достоверности определения влияния на технологические свойства параметров вещественного состава руд.

К настоящему времени для характеристики природных типов тантало-ниобиевых и оловянных руд используются следующие критерии: содержание основного ценного компонента (обычно три-шесть градаций от предположительного бортового к среднему и далее к богатым рудам);

вид (преобладающий) основного минерала (например, для оловянных руд: касситерит - первичный, вторичный гипергенный или

1957

## Примеры систем отбора малообъемных проб

Условный порядковый номер объема	Вид технологического опробования	Краткая характеристика месторождения	Принцип отбора проб	Характеристика отобранных проб				Число проб
				Петрогенная основа или генезис руды	Преобладающая минеральная форма петрогенного компонента	Содержание ценного компонента	Другие критерии	
I	2	3	4	5	6	7	8	9.
I.	МТО с элементами ТК	Оловянные сульфидосодержащие	По природным типам руд с примерно равными интервалами по вскрытым штольной и расщелками рудным телам	Не задавалась, записана количеством и видом сульфидов	А. вторичный гипогенный касситерит по тиллиту	Специально не задавалось, фактически получено в пределах 0,0л-п%	С содержанием сульфидных минералов до 25% (8 проб) и 30-70% (7 проб), в том числе с преобладанием пирротина (9 проб), галенита, сфалерита (6 проб)	15
					Б. станный		С содержанием сульфидных минералов до 25% (2 пробы) и 30-85% (6 проб), в том числе с преобладанием пирротина (6 проб), галенита и сфалерита (2 пробы)	
							Итого:	23

1956

2.	ТК	Касситерит-сульфидные кварц-турмалиновые	По разведочной сетке скважин	Специально не задавалась, фактически получены: а) первичные касситерит б) окисленные различных размеров выделений		отличались на порядок: от 0,л до п%		59		
3.	МТО с элементами ТК	Кора выветривания радиокометальных карбонатов	По природным типам из различных точек в массиве месторождения (на глубину и в плане)	I. Продукты выветривания (окры): а) по кальциту	Колумбит	Бедные Рядовые	По апатиту: Бедная и рядовая Рядовая и богатые	2 3		
					Колумбит-пирохлор	Бедные Рядовые Богатая	Бедная и рядовая Богатые Богатая	2 2 1		
					Пирохлор	Богатые	Богатая и рядовая	2		
					б) по анкериту	Колумбит	Бедные Рядовые Богатые	Рядовая Рядовые Богатая	1 2 1	
						в) по силикатам (пикриты)	Колумбит-пирохлор	Рядовые	Рядовая и богатая	2
							Колумбит-пирохлор	Бедные	Рядовая и бедная	2
					г) по силикатам (нефелин-пироксен)	Колумбит	Бедные	Бедная	1	
										2. Продукты дезинтеграции: а) обожженные по кальциту

8

I	2	3	4	5	6	7	8	9
				б) необходимые по кальциту	Колумбит	Бедные	Бедная	I
				3. Перемешанные в карстовых воронках - "карманах" охры и сыпучки	Колумбит-широхлор	Рядовые Богатая	Богатые Богатая	2 I
							Итого:	25
4.	МТО с элементами ТК	Редкометалльные метасоматиты	По природным типам из нескольких точек в массиве месторождения (на глубине и в плане)	Полилитические-рибекитовые	Не задавалась	Бедные Рядовые	Без криолита Одна из проб криолитсодержащая	I 3
				Полилитические	То же	Рядовые	Одна из проб криолитсодержащая	3
				Мусковит-полилитические	"	Рядовые	Одна из проб криолитсодержащая	2
						Богатая	Без криолита	I
				Мусковитовые	"	Бедная Рядовые Богатые	" " Одна из проб криолитсодержащая	I 6 4

1956

				Лейкократовые	Не задавалась	Бедные Рядовые	Без криолита "	I 3
							Итого:	25
5.	МТО	Редкометалльные щелочные граниты	По природным типам с разных глубин месторождения	Бiotитовые	Не задавалась	Рядовые	Без криолита	2
				Амфиболовые	То же	Рядовые Богатые	Бедные по криолиту	2 I
				Смешанные амфиболовые и эгирин-амфиболовые	"	Бедные Рядовые	Богатые по криолиту Богатая и бедная по криолиту	2 2
				Эгирин-амфиболовые	"	Бедные Рядовые Богатые	Богатые по криолиту Три пробы - бедные, четыре - богатые по криолиту Богатые по криолиту	I 7 I
							Итого:	18

Примечание: 1. Границы содержания ценного компонента в бедных, рядовых и богатых рудах в долях от средних значений принимались 0,6-0,8 и 1,2-1,4. 2. Масса проб 10-25 кг.

гипогенный, сульфостаннаты, варламоциты, изоморфная примесь в других минералах; для тантало-ниобиевых: пироклор, колумбит первичный или вторичный по пироклору, гатчеттолит, эшинит);

содержание попутных компонентов;  
наличие вредных примесей;

петрогенная основа (литологический состав) руд;

измененность руд (гипергенное, тектонической измененности, вторичные процессы рудообразования и т.д.);

при включении в МТО элементов ТК - местоположение руд в объеме месторождения (на глубину и в плане).

Попытки учесть крупность зерен ценных минералов, как правило, оказываются безуспешными из-за трудности оперативного и достоверного количественного определения этого критерия в процессе отбора проб, особенно при оценке месторождений с мелко- и тонковкрапленными рудами. Информацию о размере зерен ценных минералов обычно получают лишь в процессе их лабораторных исследований.

Пробы для МТО отбирают не по строго соотнесенным друг о другом (фиксированным значениям) критериям, а по возможно более полному набору вариантов наиболее вероятных для данного месторождения сочетаний различных значений разных критериев. В этом случае появляется объективная возможность последующей достоверной статистической оценки влияния исходных параметров руд на их технологические свойства.

В табл.2 приведены примеры опробования некоторых объектов, иллюстрирующих реализацию требований действующих инструктивных материалов [5,19] применительно к тантало-ниобиевым и оловянным рудам.

Чрезвычайно важное значение имеет вопрос о количестве проб, отбираемых для МТО, а при вычленении отдельных рудных тел и участков по группам проб - и при ТК. Снижение числа исследуемых проб сокращает затраты труда и времени на проведение МТОК, однако чрезмерное сокращение приведет к снижению достоверности результатов работ. Для определения минимально достаточного числа проб для МТО и для выделяемых групп проб при ТК автор использует значения доверительных границ коэффициентов корреляции для разного числа проб (табл.3). Значения коэффициентов парной корреляции около 0,7 обеспечивают уровень достоверности 99,9% при числе проб 20-25. Для обеспечения уровня достоверности 99% количество проб может быть существенно снижено.

Т а б л и ц а 3

Доверительные границы коэффициентов корреляции при различном количестве исследуемых при МТОК проб

Число проб, шт.	Доверительные границы парных коэффициентов корреляции при уровне достоверности, %		
	95,0	99,0	99,9
9	0,67	0,80	0,90
11	0,60	0,74	0,85
13	0,55	0,68	0,80
18	0,47	0,59	0,71
24	0,40	0,52	0,63
25	0,40	0,51	0,62
27	0,38	0,49	0,60
44	0,30	0,39	0,49

Следует отметить определенную нечеткость принципа выделения природных типов руд для проектирования отбора проб для МТО данного вида минерального сырья. В этом отношении более предпочтителен опыт разработки методики распознавания природных типов некоторых руд цветных металлов по минимальному количеству экпрессно определяемых признаков [2].

В целом система технологического опробования месторождений показана в табл.4. Необходимо подчеркнуть принципиальную допустимость проверочных технологических испытаний разработанной технологии (укрупненно-лабораторных и полупромышленных) только после завершения ТК или, в крайнем случае, МТО о элементами ТК, когда становятся известными изменчивость технологических

свойств руд в объеме месторождения и объективная возможность обеспечения отбора представительных валовых проб.

Соотнесение технологических и минералогических методов при исследовании массовых количеств малых проб

Согласно действующей инструкции по МТОК рудных месторождений [5], основной метод получения информации о технологических свойствах руд - это прямой эксперимент, т.е. обогащение каждой пробы по единой ("стандартной" или "моделирующей") схеме.

Однако в принципе возможна технологическая оценка руд только по параметрам вещественного состава, особенно на самых ранних стадиях геологоразведочных работ. В последние годы широкое развитие получили приемы и методы технологической минералогии (Гинзбург А.И., Александрова И.Т., 1974; Блисковский В.З., 1975; Гинзбург А.И., Александрова И.Т. и Шманенков И.В., 1977; Челищев Н.Ф., 1977) для изучения вещественного состава минерального сырья с целью определения основных направлений создания оптимальной технологии переработки, а в ряде случаев и непосредственного количественного прогнозирования технологических показателей. Для оловя-

2961

## Соотнесение стадий геологоразведочных работ, видов и задач технологических исследований

Стадии геологоразведочных работ	Вид и задачи технологических испытаний	Характеристика отобраемых на месторождении проб, их масса и количество	Используемые методы исследований
I	2	3	4
Общие поиски	Как правило, не проводят, технологические свойства прогнозируют по вещественному составу и технологическим свойствам классификациям руд (см.табл.8)	Образцы	Минералого-петрографические
Детальные поиски	Предварительное малообъемное технологическое опробование - предварительная оценка технологических свойств перспективных рудопоявлений	Минералого-технологические по предварительно выделенным природным типам руд, масса до 20 кг, до 10 шт.	Обогащение по упрощенной схеме, создаваемой на основе общих качественных характеристик данного вида минерального сырья
Поисково-оценочные работы	Малообъемное технологическое опробование - оценка технологических свойств природных типов с предварительным выделением промышленных типов и сортов руд	Минералого-технологические по природным типам и (или) их разновидностям, масса до 50 кг, до 20 шт.	То же или разработка схем и режимов для руд, требующих применения селективной флотации
Предварительная разведка	I. Малообъемное технологическое опробование (с элементами технологического картирования) - выделение технологических типов и сортов руд (и предварительное определение изменчивости технологических свойств руд в объеме месторождения)	I. Минералого-технологические и малые по природным типам руд (с совпадающими другими критериями из разных точек в объеме месторождения)	I. Применение априорной или разработка моделирующей схемы

1956

	2. Технологическое картирование - окончательное выделение и геометризация в объеме месторождения промышленных типов и сортов руд; расчет средневзвешенных показателей	2. Малые технологические пробы по отдельным сечениям рудного тела, масса не менее 3-5 кг, 50-150шт.	2. Применение априорной или разработка моделирующей схемы
	3. Лабораторные исследования - уточнение показателей по типам и разновидностям в сравнении с п.1 и 2, поисковые исследования по определению направлений создания оптимальной технологии для труднообогатимых руд (типов II и III, см. табл.9)	3. Лабораторные по промышленным типам и (или) их разновидностям (возможно, из остатков проб после реализации п.1 и 2), масса 50 кг, до 10 шт.	3. Обогащение по развернутой схеме; поисковые опыты по химико-металлургической переработке некондиционных продуктов обогащения
Детальная разведка	I. Завершение технологического картирования 2. Детальные лабораторные и полупромышленные испытания - разработка и проверка технологических схем по типам, участкам или всему месторождению в целом	2. Лабораторные и укрупненные-лабораторные по выделенным промышленным типам и их разновидностям, масса 0,3-3 т, до 5-7 шт; полупромышленные по типам, участкам или месторождению, масса 100-1000 т, до 3 шт.	2. Обогащение (в том числе крупнокускового материала); химико-металлургическая переработка некондиционных продуктов

1	2	3	4
Разведка эксплуатаци- руемых месторож- дений в пределах горного отвода	<p>1. Малообъемное технологическое опробование и картирование - определение основных технологических свойств руд и идентификация их со свойствами ранее разведанных</p> <p>2. Детальное лабораторное опробование в случае обнаружения руд с существенно иными технологическими свойствами</p> <p>Малообъемное технологическое опробование - оперативный контроль качества руд до оттачивания очищенных образцов</p>	<p>1. Минералого-технологические и малые технологические (см. "Предварительная разведка")</p> <p>2. Лабораторные (реже укрупненно-лабораторные, см. "Детальная разведка")</p> <p>Минералого-технологические и малые, масса до 20 кг, до 10 шт. по образцу</p>	<p>1. Обогащение по упрощенной схеме</p> <p>2. Обогащение и химико-металлургическая переработка</p> <p>Обогащение по упрощенной схеме</p>

1957

ных руд имеются многочисленные технологические классификации, на основании которых по данным изучения вещественного состава можно определить как технологию их переработки, так и ожидаемые результаты обогащения (Фоменко Т.Г., Сорокин И.П., 1958; Вишневацкий Е.Н., 1962; Голандский Д.Б., 1963; Полькин С.И., Лагтев С.Ф., 1974); имеются и специальные разработки по прогнозированию технологических свойств слюдяных руд по определяющим их параметрам вещественного состава (Шушканов А.В., 1977). Для тантало-ниобиевых и других редкометалльных руд имеются классификации, позволяющие определять схемы обогащения их в зависимости от вещественного состава (Полькин С.И., 1967).

Прогнозирование технологии и результатов переработки по данным вещественного состава руд может применяться для предварительной оценки руд новых объектов на ранних стадиях ГРП. В последнее время появился опыт использования приемов и методов технологической минералогии для количественной технологической оценки массового количества малых проб при МТОК. Так, имеются специальные разработки, доведенные для слюдяных месторождений до утвержденных инструкций (Иванов О.П. и др., 1972, 1974), [1, 3] по картированию на основе методов и приемов технологической минералогии. Обогащаемость каждой пробы в этом случае оценивается по определяющим ее минералогическим факторам: минеральным формам слюда, размеру их выделений (в основном гранулометрической характеристики каоцитерита), виду сопутствующих минералов и характеру минеральных ассоциаций. Такой подход не вызывает принципиальных возражений, однако широкое практическое применение может найти в приложении к месторождениям с рудами простого состава и сравнительно крупными выделениями ценного минерала. Картирование месторождений сложных тонковкрапленных руд на такой основе возможно лишь силами специализированных высококвалифицированных минералогических лабораторий.

При получении основной информации для МТОК прямым технологическим экспериментом минералогические исследования не теряют решающего значения. В этом случае их роль заключается в обеспечении достоверности МТОК (выбор схемы обогащения, оперативный контроль качества концентратов для обеспечения его стабильности по всем пробам и, тем самым, возможности корректного сравнения величин извлечений) и выявлении основных направлений совершенствования технологии руд (возможности создания схем

доводки черновых концентратов, изучения причин аномальных содержаний ценных компонентов в хвостах обогащения [12].

Автор на основании изучения оловянных и тантало-ниобиевых руд рекомендует определять ценные компоненты в рудах и продуктах обогащения в трех состояниях:

1) свободный (или условно свободный), обеспечивающий получение кондиционных по содержанию основных компонентов и вредных примесей, как правило, селективных концентратов;

2) в богатых сростках, обеспечивающих ту разность в плотностях этих сростков и минералов пустой породы, которая достаточна для разделения гравитационными методами и получения продуктов для дальнейшей доработки [20];

2) в бедных сростках с минералами пустой породы, плотность которых мала для извлечения при гравитационном обогащении в черновой концентрат.

Граничные содержания ценных компонентов между богатыми и бедными сростками оловянных и тантало-ниобиевых руд приведены в табл.5.

Т а б л и ц а 5

Граничные содержания тяжелых минералов для промышленных процессов гравитационного обогащения

Наименование показателей	Крупность разделяемых зерен, мм					
	20,0-15,0		2,0-1,5		0,20-0,15	
	группа					
	I	2	I	2	I	2
Минимальная разность плотностей разделяемых зерен, г/см <sup>3</sup>	0,425	0,425	0,850	0,850	1,275	1,275
Минимальная плотность извлекаемого зерна, г/см <sup>3</sup>	3,125	3,125	3,550	3,550	3,975	3,975
Минимальное содержание тяжелого минерала в сростках, %:						
по массе	9,3	17,4	20,9	39,1	30,2	64,4
по объему	3,7	10,2	9,3	25,7	14,3	49,5

П р и м е ч а н и е: Группа 1 с  $\rho \approx 7-8$  г/см<sup>3</sup> - танталит, касситерит, вольфрамит, группа 2 с  $\rho \approx 4-6$  г/см<sup>3</sup> - пирохлор, колумбит, эцинит, фергусонит, лопарит, циркон, шеелит в сростках с легкими минералами; с  $\rho \approx 2,7$  г/см<sup>3</sup> - кварц, калцит, полевые шпаты, слюды.

В связи с тем, что состав руд новых объектов постоянно усложняется, уменьшается размер зерен ценных минералов, основным методом количественной оценки технологических свойств становится прямой эксперимент.

Практика показала высокую оперативность и сравнительно малые материальные затраты на обработку одной малой пробы руд самого сложного состава: для сульфидосодержащих тонковкрапленных оловянных руд на собственно эксперимент при массе пробы 5-10 кг и применении схемы, приведенной на рис.1, требуется одна-две смены бригады из 3-4 человек [12,20]. При этом усложнение вещественного состава руд отдельных проб практически не затрудняет проведения экспериментов.

В общем случае оптимальное соотношение применяемых методов оценки обогатимости проб: прямой технологический эксперимент или технологической минералогии представлены на рис.2.

#### Схемы обогащения малых проб тантало-ниобиевых и оловянных руд

Согласно действующей инструкции выбор схемы обогащения для МТОК рекомендуется проводить в основном после разработки на мичералого-технологических пробах оптимальной технологии переработки руд данного природного типа. В данном случае - это моделирующая схема. Допускается (особенно для МТО) выбор схемы и по аналогии. В развитии этого принципа в практике МТОК используют так называемый "априорный" выбор схемы, во многом сходный с выбором по аналогии, но позволяющий в ряде случаев создать схему для МТО и для руд, не имеющих прямых схем-аналогов [12,20].

При априорном выборе схемы обогащения достигается выигрыш времени - возможность начать МТОК без специальных исследований минералого-технологических проб, что для оловянных и тантало-ниобиевых руд дает выигрыш около одного года. Априорный выбор схемы сводится к конструированию их на основе общих свойств вещественного состава минерального сырья, определяющих его технологические свойства. Такой выбор в настоящее время возможен для тех руд, которые отвечают двум общим требованиям: 1) качественная характеристика вещественного состава (минеральные формы ценных, попутных компонентов, вмещающих пород и вредных примесей, общий характер их ассоциаций, приблизительный преобладающий размер выделений)

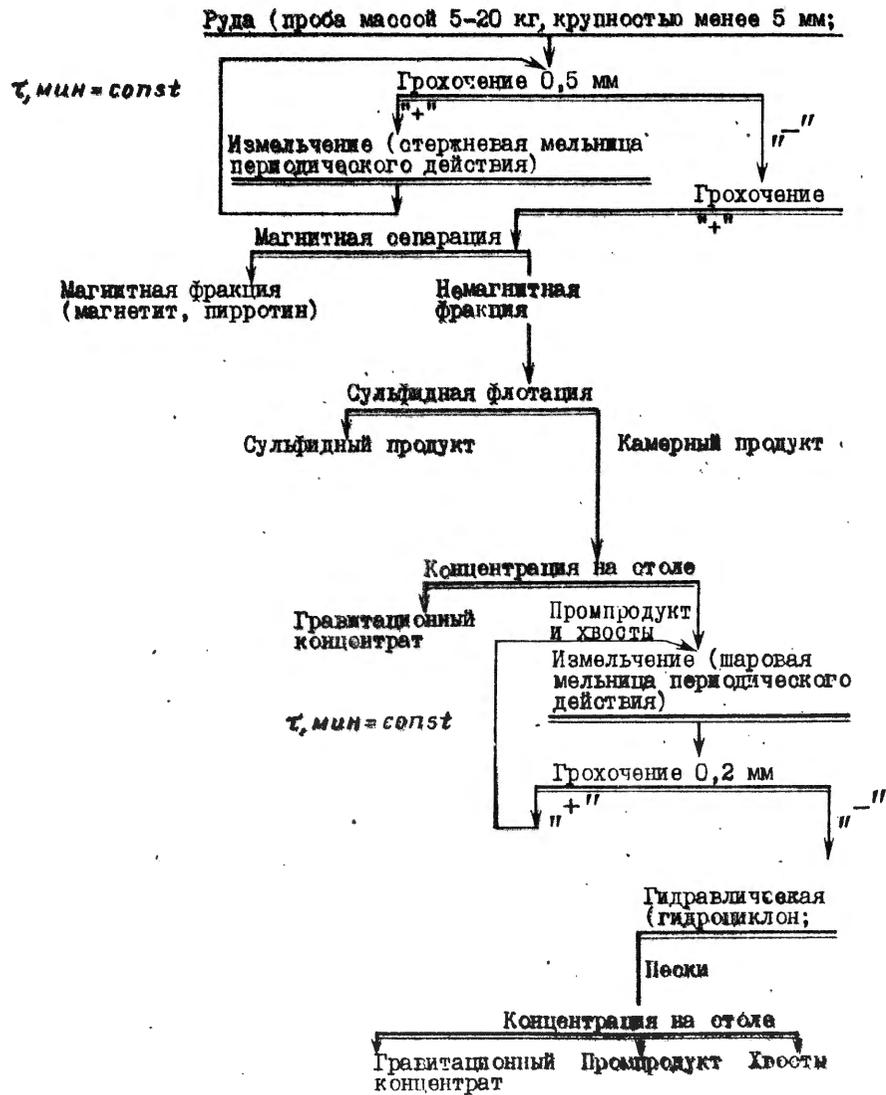
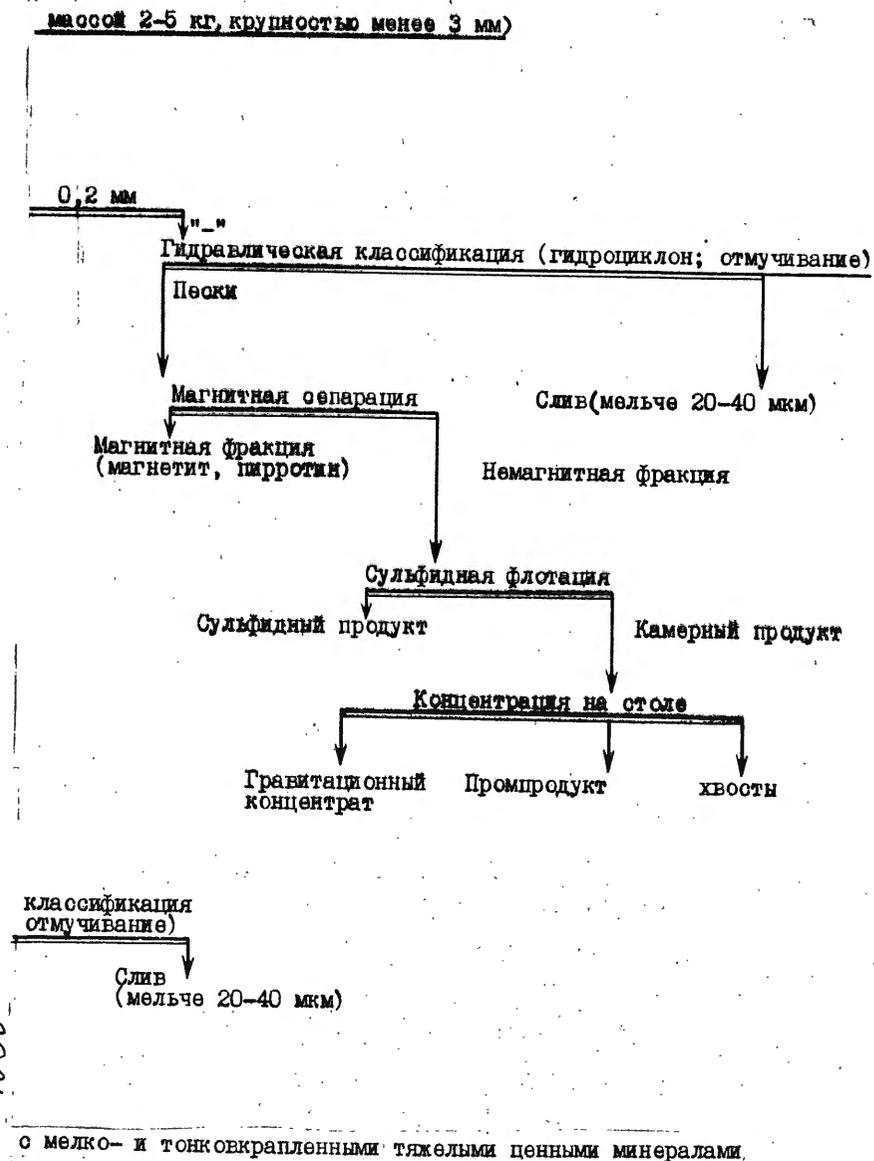


Рис. I. Универсальная схема обогащения при МТСК месторождений руд



# I. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД

Простой

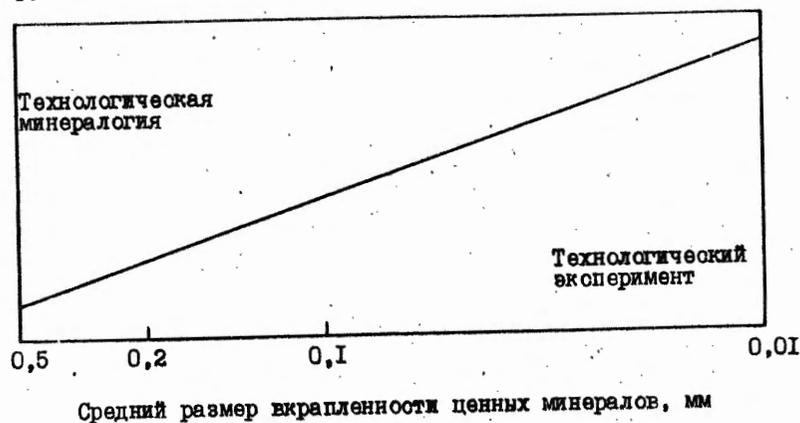
Сложный

# II. РАЗМЕР ВКРАПЛЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ

Крупный

Мелкий

Тонкий



# III. СТАДИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧНЫХ РАБОТ

Общие поиски

Детальные поиски

Поисково-оценочные работы

Предварительная разведка

Детальная разведка

Эксплуатационная разведка

# IV. КОЛИЧЕСТВО ИССЛЕДУЕМЫХ ПРОБ

Единицы

Десятки

Сотни

Тысячи

Рис. 2. Оптимальное соотношение методов и приемов технологической минералогии и технологического эксперимента при МТОК

известна - т.е. объект представлен традиционными для практики промышленного использования рудами или новый вид минерального сырья качественно изучен методами технологической минералогии; 2) для обогащения данного вида минерального сырья используются процессы, обеспечивающие получение стабильных результатов без специальной разработки режимов (концентрация на столе, отсадка, магнитная сепарация, коллективная сульфидная флотация и т.д.).

Общим этим требованиям отвечают оловянные и тантало-ниобиевые руды, которые объединяют специфические свойства ценных минералов: повышенная плотность (две группы: касситерит и танталит с  $\rho$  7-8 г/см<sup>3</sup>; пирохлор, колумбит, эшнит, лопарит с  $\rho$  4-6 г/см<sup>3</sup>) и сравнительно плохие флотационные свойства (низкая селективность отделения их от окисленных минералов цветных металлов и железа и многих породообразующих минералов), полдисперсный характер выделений (размер отдельных кристаллов и агрегатов в рудах одного месторождения различается на два-три порядка). Все это предопределяет применение для обогащения подобных руд стадийных гравитационных схем с начальной крупностью, превышающей размер ценных минералов в 2-3 раза, и конечной, определяемой как гранулометрической характеристикой этих минералов, так и техническими возможностями современного обогатительного оборудования, и равной обычно 0,2(0,1) мм [20].

В качестве априорных для МТОК оловянных месторождений применяют двухстадийные схемы обогащения: 1) гравитационные; 2) флотационно-гравитационные - при наличии в рудах более 5% сульфидных минералов, а также части олова в виде сульфостаннатов; 3) магнитно-(флотационно)-гравитационные - при наличии магнитных минералов (магнетита более 1%, пирротина).

Во избежание случайного переизмельчения ценных компонентов даже для мелко- и тонковкрапленных руд начальную крупность гравитационного обогащения принимают порядка 2 мм. Извечное противоречие требований малой крупности зерен для флотации сульфидных минералов и большей - для гравитационного извлечения касситерита, сдерживающее промышленное освоение флотационно-гравитационных схем на отечественных фабриках, решается в последнее время применением специальных флотомашин [10,15,20] и новых конструкций или принципов тонкого грохочения [20]. Для МТОК мелко- и тонковкрапленных касситерито-сульфидных руд могут использоваться флотационно-гравитационные схемы с начальной крупностью в зависимо-

1961

сти от преобладающей вкрапленности ценных минералов от -1,0 (обычно -0,5) до -0,2(0,1) мм.

Так, для МТОК сульфидосодержащих мелко- и тонковкрапленных оловянных руд (объект I, см.табл.2) успешно применена магнитно-флотационно-гравитационная схема [3,12,20], причем картирование одного тела ("Б", там же) со станниновыми рудами проведено вообще без какого-либо предварительного изучения технологических свойств. В результате были получены данные для картирования, оценены ожидаемые технологические показатели и определен принцип построения технологии переработки этих руд, полностью подтвердившиеся затем при проведении лабораторных и, наконец, полупромышленных испытаний (два последних вида работ выполнены под руководством Л.А.Грекуловой, ВМС). Расхождения (относительные) величин извлечений олова, свинца и цинка не превышали 4-10%.

Для МТОК коренных тантало-ниобиевых руд схемы аналогичны схемам, применяемым при МТОК оловянных месторождений.

Приведена так называемая "универсальная" схема (см.рис.1) обогащения при МТОК месторождений рассматриваемого вида минерального сырья. В зависимости от общих специфических особенностей вещественного состава руд данного месторождения и задач МТОК эта схема может существенно видоизменяться. Так, например, при ТК месторождения с рудами, практически не содержащими магнетит (т.е. количество его существенно уступало извлекаемому гравитационными методами касситериту) - объект 2 см.табл.2, из схемы была исключена магнитная сепарация. При МТО месторождения с рудами, в которых предполагалось наличие более широкого диапазона размеров вкрапленности тантало-ниобатов (объект 5 см.табл.2), начальная крупность обогащаемого материала была повышена до -0,8 мм и введена третья стадия обогащения с доизмельчением хвостов второй стадии до -0,14 мм, из-за отсутствия сульфидных минералов флотация их была исключена.

Для оценки технологических свойств руд кор выветривания карбонатного тантало-ниобиевого месторождения с апатитом и магнетитом применена одностадийная схема магнитно-гравитационного обогащения с предварительным выделением несобогщаемых самого крупного (нераскрытого) и тонкого материалов (рис.3). На лабораторных пробах, составленных из остатков малых проб, проведено определение эффективности операций дообогащения хвостов первой стадии и крупного исходного материала.

1956

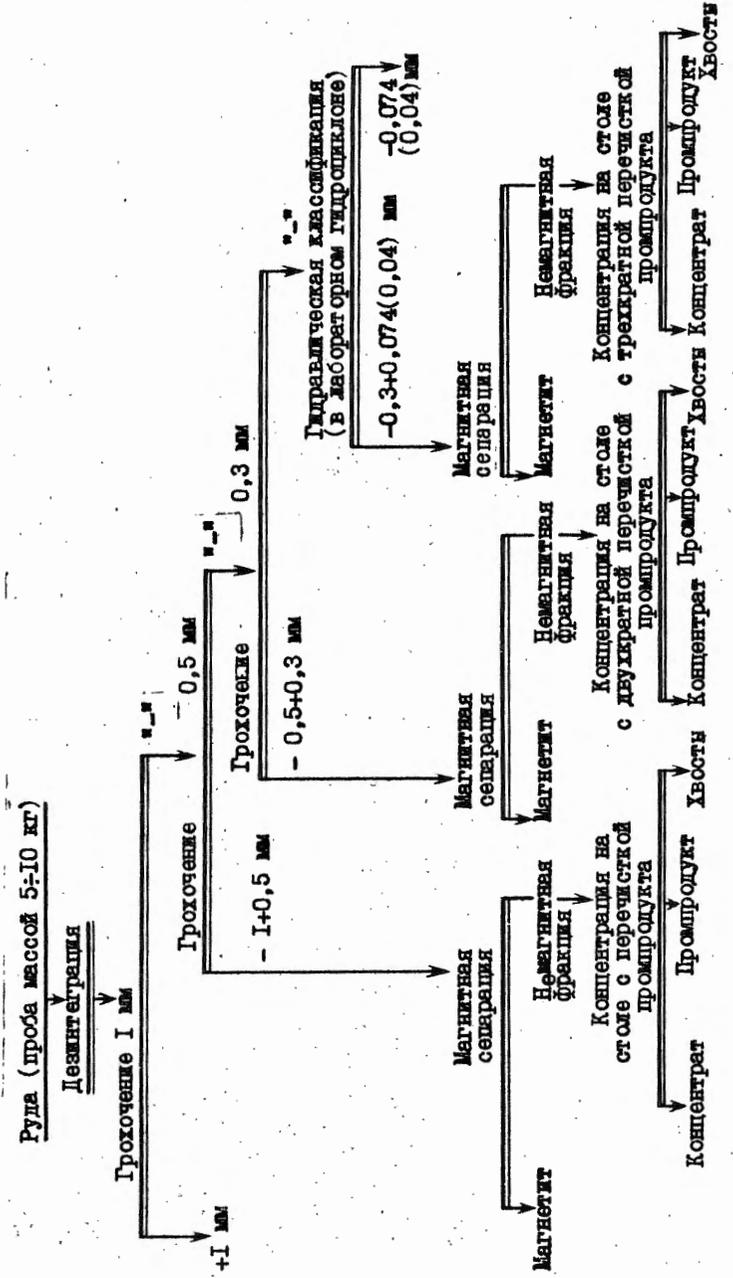


Рис.3. Схема изучения технологических свойств проб при МТОК корн выветривания карбонатного редоксметалльного месторождения

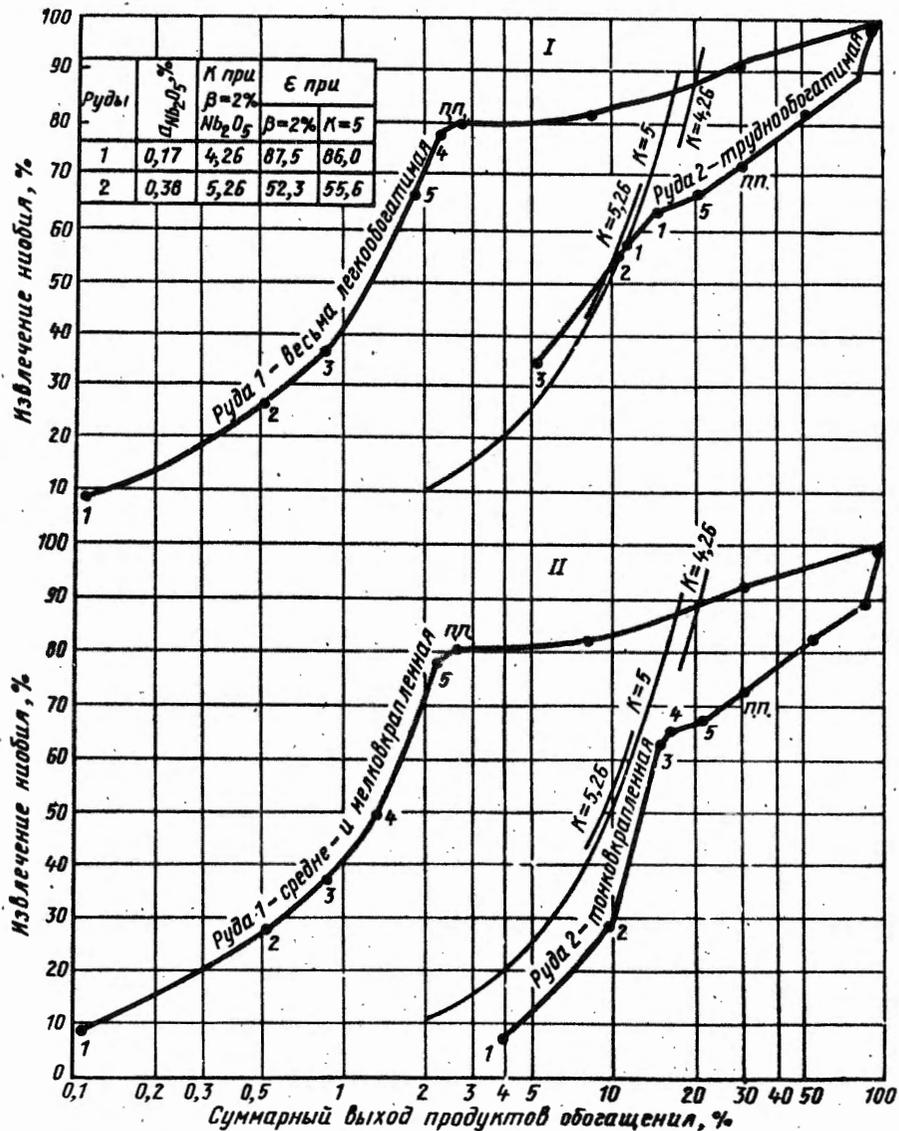


Рис. 4. Сопоставление технологических свойств руд

1, 2, 3, 4, 5 - соответственно концентраты первой стадии обогащения крупностью 1,0-0,5; 0,5-0,3; 0,3-0,14 и 0,14-0,074 (0,04) мм и второй стадии крупностью 0,14-0,07(0,04) мм; п.п. - первый (богатый) промпродукт

Априорно выбранные для МТОК схемы, как и принятые по аналогии, обычно называются "стандартными" в отличие от "моделирующих", создаваемых на основе схем обогащения, разрабатываемых в ходе специальных исследований минералого-технологических проб.

Гравитационное обогащение с целью извлечения оловянных и тантало-ниобиевых минералов проводят с предварительной классификацией измельченного материала по крупности [12, 20] или на неклассифицированном материале [3]. Схемам с предварительной классификацией, причем классификацией ситовой, т.е. по размеру зерен, а не по массе (равнопадаемости), следует отдать безусловное предпочтение. Преимущество обогащения классифицированной руды заключается не столько в улучшении условий гравитационного разделения, что и само по себе достаточно важно, сколько в возможности по результатам обогащения дать сравнительную по всем пробам характеристику раскрываемости и ороствков ценных тяжелых минералов. Достигается это или сравнением положения кривых обогатимости при построении их в порядке уменьшения крупности концентратов (рис. 4, вариант 2), или определением для каждой пробы так называемого "продуктивного класса", т.е. материала такой крупности, при которой достигается определенное минимальное извлечение в концентрат (например, равное или большее 10% при коэффициенте концентрации не менее 5). Определение размера продуктивного класса характеризует вкрапленность извлекаемого минерала.

Исключением для возможности априорного создания схем обогащения для МТОК является необходимость использования селективной флотации.

При МТОК глубина обогащения обычно ограничивается получением черновых концентратов такого качества, которое гарантирует получение кондиционных концентратов с определенным (минимально достаточным) извлечением в доводочном цикле. Необходимое качество чернового концентрата и результаты доводки в каждом конкретном случае определяются по аналогии или специальными исследованиями.

#### Критерии оценки качества руд

Основной критерий оценки технологических свойств руд, используемый для сравнения этих свойств и определения влияния на них вещественного состава, - это извлечение основного ценного компонента в концентрат. При невозможности получения концентратов

одинакового качества используются другие критерии, которые можно объединить понятием "технологическо-экономические".

К таким критериям относится использованная при ТК оловорудных месторождений "продуктивность руды" по тому или иному компоненту [20], определяемая как количество компонента в килограммах, извлекаемое из 1 т руды, по формуле

$$M = \frac{\alpha \cdot \varepsilon}{10} = \frac{\gamma \cdot \beta}{10}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - соответственно содержание компонента в руде и концентрате,  $\varepsilon$  - извлечение его в концентрат с выходом  $\gamma$ , %.

Вариант формулы с  $\gamma$  и  $\beta$  позволил автору на пробах малой массы (менее 5 кг), которая не давала возможность выделить навеску для анализа исходной руды, оценить продуктивность по попутным компонентам, содержания которых определялись только в концентратах [12,20].

Экономическая оценка руд желательна с самых ранних стадий геологоразведочных работ. При этом рациональным является оценка на уровне конечной продукции отрасли (металлов, химических соединений и других стандартных продуктов), а не на уровне концентратов, так как специальная металлургическая переработка позволяет получать товарную продукцию из некондиционных продуктов обогащения [7,17], кроме того, не на все попутные ценные компоненты установлены цены в кондиционных по основному компоненту концентратах. На ранних стадиях геологоразведочных работ - при проведении МТО, включая предварительное МТО, а также при ТК на большом числе проб оперативным способом технологическо-экономической оценки руд является система, основывающаяся на варианте следующего критерия - комплексности использования сырья [20]:

$$K_3 = \frac{\Pi_{ИЗ}}{\Pi_{П}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{П}} \alpha_i \cdot \varepsilon_{0i} \cdot \varepsilon_{Mi} \cdot C_i}{\sum_{i=1}^{N_0} \alpha_i \cdot C_i}, \quad (2)$$

где  $\Pi_{П}$  - потенциальная,  $\Pi_{ИЗ}$  - извлекаемая ценность руды;  $\alpha_i$  - содержание данного ценного компонента в руде, %;  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_M$  - соответственно извлечения данного компонента при обогащении руды и в

металлургическом переделе, доли единицы;  $C$  - цена данного компонента в конечном товарном продукте типичной массовой (первой) марки металлургического передела по действующим преискурантам (например, № 02 - 01; 05 - 01); в практических расчетах для удобства пользования формулой (2) рекомендуется принимать цену 10 кг компонента, что соответствует содержанию 1% его в 1 т руды;  $N_0$  и  $N_{П}$  - число рассматриваемых и извлекаемых в товарную продукцию компонентов,  $N_0 \geq N_{П}$ , как правило,  $N_0 = const$ .

Данный вариант формулы определения  $K_3$  отражает логически неизбежное увеличение комплексности использования сырья не только при увеличении одного или нескольких  $\varepsilon_0$  или  $\varepsilon_M$ , но и при  $N_{П} \rightarrow N_0$ , т.е. увеличения числа извлекаемых компонентов.

Даже при более низком извлечении новых компонентов, в сравнении с извлечением основных, величина  $K_3$  возрастает, чего не случается для вариантов формул с  $N_0 = N_{П} \neq const$ .

Очевидно, что

$$K_3 = \frac{\sum_{i=1}^{N_{П}} M_i \cdot \varepsilon_{Mi} \cdot C_i}{\sum_{i=1}^{N_0} \alpha_i \cdot C_i}. \quad (2a)$$

Недостатки технологические данные, отсутствие которых обуславливается малой глубиной обогащения на ранних стадиях геологоразведочных работ, принимаются по аналогиям. Число таких данных, следовательно, неопределенность расчетов уменьшаются по мере изучения месторождения: вообще и от предварительного МТО к ТК в частности. Так, при МТО (детальные поиски) экспериментально определяется только извлечение ценных компонентов в черновые концентраты, извлечение при доводке и металлургическом переделе принимается по литературным данным. При поисково-оценочных работах известны уже результаты доводки черновых концентратов, а при детальной разведке нередко уточняются и показатели металлургической переработки, особенно некондиционных продуктов обогащения.

Более сложным является вопрос используемых цен при данных расчетах. В.Н.Виноградов (1978) рекомендует использовать цены действующих преискурантов на стандартные соединения (в данном случае чаще металлы) первой марки (сорта). Однако ряд ведущих экономистов небезосновательно считает, что такой подход может

26/1

привести к серьезным ошибкам при реализации полупродуктов в качестве товарной продукции (например, получении не металлического ниобия, а значительно более дешевого феррониобия). Такие ситуации сравнительно редки для оловянных руд, но традиционны для редкометалльных. Можно рекомендовать использование преискуранных цен на металлы на самых ранних стадиях геологоразведочных работ, когда еще окончательно не определены конечные продукты технологической переработки, с одной стороны, а с другой - целесообразно показать максимально возможную потенциальную ценность руд нового объекта и отдельных составляющих ее компонентов (табл.7). Завышение абсолютной и относительной ценностей руд на ранних стадиях геологоразведочных работ менее опасно, чем нередко наблюдаемое сейчас на практике "упущение" или принципиальная недооценка некоторых попутных компонентов.

Кроме абсолютной потенциальной ценности руды ( $\Pi_{\text{п}}$ ) определяется и относительная ценность отдельных компонентов [20,21]:

$$i = \frac{\alpha_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^{N_0} \alpha_i \cdot C_i} \quad (3)$$

Пример предварительной экономической оценки руд по результатам МТО одного объекта (объект 4 см.табл.2) приведен в табл.6. По этим данным можно установить изменчивость отдельных параметров, их значимость и уточнить задачи последующей разработки оптимальной технологии данного сырья. В частности, видна настоятельная необходимость исследования возможностей использования редких земель.

В целом система технологико-экономической оценки руд, используемая автором при МТОК оловянных и редкометалльных месторождений, включает два этапа - первый после определения химического и ориентировочного минерального состава частных проб, и второй после завершения технологических экспериментов:

I. Определение по содержаниям ценных компонентов в руде:

- 1) потенциальной ценности сырья (в расчете на  $I \text{ т} - \Pi_{\text{п}}$ ), которая есть знаменатель формулы (2);
- 2) относительной ценности каждого полезного компонента  $i$ .

II. Определение после завершения технологических экспериментов:

- 1) комплексности использования сырья по формуле (2);
- 2) извлекаемой ценности руды (в расчете на  $I \text{ т} - \Pi_{\text{из}}$ ), являющейся числителем формулы (2).

Пример сравнительной (между собой и со средними значениями) (объект 5 по табл.2) о использовании:

Условный номер проб	По основным редким металлам - Nb, Ta, Zr				По трем основным редким металлам и криолиту		
	$\Pi_{\text{п}}$ , руб.	$i_{\text{Nb}}$ , %	$i_{\text{Ta}}$ , %	$i_{\text{Zr}}$ , %	$\Pi_{\text{п}}$ , руб.	$i_{\Sigma \text{Pz}}$ , %	$i_{\text{Kf}}$ , %
1	412,5	47,3	28,1	24,6	417,4	98,8	1,2
2	431,6	45,2	26,4	28,4	437,0	98,8	1,2
3	654,6	39,6	25,4	35,0	660,7	99,1	0,9
4	549,8	35,5	22,4	42,1	554,0	99,2	0,8
5	467,6	24,7	12,6	62,7	472,5	99,0	1,0
6	830,3	23,5	11,6	64,9	834,9	99,5	0,5
7	559,1	30,6	23,0	46,4	560,3	99,8	0,2
8	332,7	34,7	25,7	39,6	334,1	99,6	0,4
9	131,4	30,3	25,6	44,1	151,8	86,6	13,4
10	112,9	29,0	19,7	51,3	134,4	84,0	16,0
11	372,0	41,8	28,7	29,5	397,6	93,6	6,4
12	208,2	40,2	28,2	31,6	229,4	90,8	9,2
13	389,5	52,2	24,7	23,1	413,2	94,3	5,7
14	448,5	43,5	29,8	26,7	468,1	95,8	4,2
15	468,3	34,9	18,2	46,9	469,7	99,7	0,3
16	450,0	43,4	27,4	29,2	475,6	94,6	5,4
17	400,0	41,9	26,7	31,4	421,2	95,0	5,0
18	466,7	41,8	32,1	26,1	483,6	96,5	4,5
Средние значения	421,4	37,8	24,2	38,0	439,7	95,8	4,2
Коэффициент вариации	42,8	26,1	23,0	33,3	37,9	4,8	109,8

1956

Таблица 6

оценки частных проб при МТО редкометального месторождения  
технологико-экономических критериев

По трем основным редким металлам, криолиту, редким землям  
и гафнию

П. руб.	$i_{\Sigma P_2},$ %	$i_{Kp},$ %	$i_{\Sigma TR},$ %	$i_{Hf},$ %
750,7	55,0	0,7	30,3	14,0
1305,9	33,1	0,4	43,4	9,9
1257,1	52,1	0,5	31,3	16,1
1511,3	36,4	0,3	45,6	17,7
1834,0	25,5	0,3	58,7	15,5
2505,2	33,1	0,2	45,7	21,0
1252,4	44,6	0,1	38,5	16,8
1105,0	30,1	0,1	59,5	10,3
457,5	28,7	4,5	54,4	12,4
331,4	34,1	6,4	45,8	13,7
711,6	52,3	3,6	70,7	14,8
405,1	51,4	5,2	27,4	16,0
697,1	55,9	3,4	27,9	12,8
962,8	46,6	2,0	37,6	11,8
1538,4	30,4	0,1	56,3	13,2
1011,2	44,5	2,5	40,2	12,8
869,8	46,0	2,4	37,6	14,0
953,5	48,9	1,8	37,4	11,9
1081,1	41,6	1,9	43,4	14,1
50,1	24,3	103,6	27,6	19,3

Определение потенциальной ценности руды (абсолютной и относительной каждого компонента), проводимое до начала технологических экспериментов, может служить для корректировки стандартной охемы для МТО и выбора критериев оценки технологических показателей.

#### Относительная измельчаемость руд при МТОК

Малое время, отпускаемое на проведение МТОК, большое количество и малая масса проб не позволяют проводить в полном объеме определение измельчаемости каждой пробы. Знание же изменчивости измельчаемости руд, расположения руд разной крепости в массиве месторождения чрезвычайно важно при промышленной отработке месторождения. В процессе МТОК в качестве дополнительной информации, не требующей проведения дополнительных экспериментов, возможно определение относительной измельчаемости каждой малой пробы. Для этого автор проводит измельчение всех проб (как перед первой стадией обогащения руды, так и при доизмельчении хвостов гравитационного обогащения перед второй стадией) в строго одинаковых режимных условиях. Поэтому величина недоизмельченного материала, отнесенная к массе исходной навески (циркулирующая нагрузка), как раз и характеризует в сравнении с аналогичными характеристиками других проб относительную измельчаемость данной руды. Разумеется, заменить определение измельчаемости руды для расчета мельниц этот прием не может, но позволил автору при ТК объекта 2 (см. табл.2) выделить участки руд с легкой, средней и трудной измельчаемостью [12,20]. Величина циркулирующей нагрузки определяется при первом приеме измельчения руды или доизмельчения хвостов первой стадии обогащения, а если позволяет масса исходной навески, и на последующих приемах измельчения (например, третьем, пятом и т.д.).

В целом, выявлен набор критериев, используемых при МТОК основных и тантало-ниобиевых руд (табл.7):

- для характеристики руды до начала технологических экспериментов - абсолютная (суммарная) и удельная (относительная, частная) потенциальная ценность;

- для характеристики руды после завершения технологических экспериментов - извлечение ценных компонентов, комплексность использования, продуктивность, извлекаемая ценность, относительная измельчаемость руды.

2581



$\varepsilon = f(lg r)$  и определение по ним величин извлечений при  $k = const$  (едином коэффициенте концентрации основного ценного компонента, что характеризует руду как объект обогащения) и  $\beta = const$  (едином содержании ценного компонента в концентрате, что характеризует руду как объект промышленной переработки). В свих последних работах по МТОК редкометалльных месторождений автор использует и так называемое "оптимальное извлечение", которое в большинстве случаев отвечает  $\varepsilon$  при  $\beta = const$ , лишь для руд с чрезвычайно низким исходным содержанием ценного компонента (обычно близким к ожидаемому бортовому для данного месторождения), заменяемому  $\varepsilon$  при  $k = const$  (при этом  $K$  соответствует  $\alpha$  и  $\beta$  на рудах среднего качества).

Кривые обогатимости строятся или традиционно, т.е. с расположением продуктов обогащения в ряду с убывающим содержанием ценного компонента (что в принципе соответствует убыванию плотности продуктов (см. рис. 4, вариант I)), или по мере убывания крупности получаемых концентратов вне зависимости от качества их. В первом варианте определяется  $\varepsilon$  при  $k = const$  и  $\beta = const$ , во втором - возможно сопоставление размеров вкрапленности извлекаемых тяжелых минералов (см. рис. 4, вариант II).

Разумеется, использовать вариант построения кривых обогатимости по крупности концентратов (рис. 4, вариант II) для определения  $\varepsilon$  при  $k = const$  или  $\beta = const$  можно лишь в случае пересечения вспомогательных кривых с основными в области промпродуктов (руда 1), иначе возникает опасность недоверного определения (занижения) технологических показателей или такое определение становится вообще невозможным (руда 2).

При реализации способов, изложенных в пунктах I и II-2, возможно сопоставление проб не только по величинам  $\varepsilon$ , но также  $K_2$  и  $\Pi_{из}$ .

#### Достоверность результатов технологических экспериментов при МТОК

Достоверность технологической оценки руд при МТОК, полученной при обогащении малых проб по упрощенным схемам до черновых концентратов, определяется на пробах, составленных из остатков исследовавшихся, объединяемых с учетом результатов выделения технологических типов и сортов руд.

При определении достоверности данных МТОК получают ответы на два принципиально важных вопроса:

1) показатели доводки черновых концентратов до кондиционных и возможность повышения извлечения ценных компонентов за счет более глубокого обогащения промпродуктов и шламов и (или) более кардинального совершенствования схемы и режимов обогащения;

2) соотношение величин извлечений ценного компонента в концентраты одинакового качества по упрощенной и развернутой (оптимальной) схемам обогащения.

Проверка достоверности получаемых при МТОК технологических показателей осуществляется двумя способами.

Первый - оперативный, применяется в процессе проведения МТОК путем сопоставления величин содержаний ценных компонентов, определенных при анализе исходной пробы руды и при расчете баланса распределения элемента по продуктам обогащения. Расхождения в содержании ценных компонентов не должны превышать допустимые при производстве аналитических определений [18]. По данному способу оценивают лишь качество проведения эксперимента и анализов руды и продуктов обогащения.

Второй - экспериментальный, предусмотрен инструкцией № I и заключается в составлении из остатков частных (малых или минералогическо-технологических) проб средневзвешенных, с учетом запасов руды, представляемых каждой частной пробой. Эти новые пробы могут быть отнесены к лабораторным [19] и составляются обычно по выделенным при МТОК технологическим сортам или типам, возможно, по эксплуатационным блокам, участкам. Лабораторные пробы обогащают по развернутым оптимальным схемам. В этом случае определяют и качество проведения эксперимента, включая производство определений компонентов в руде и продуктах обогащения, и приемлемость выбранной для МТОК упрощенной ("моделирующей" или "стандартной") схемы с использованием формулы

$$\Delta \varepsilon = \frac{\varepsilon_{полн} - \varepsilon_{МТОК}}{\varepsilon_{полн}} 100\%, \quad (5)$$

где  $\Delta \varepsilon$  - относительное расхождение извлечений ценного компонента в продукты одинакового качества по полной ( $\varepsilon_{полн}$ ) и упрощенной ( $\varepsilon_{МТОК}$ ) схемам.

В качестве примера можно привести результаты оценки сходности средневзвешенных величин извлечения, полученных при ТК од-

ного оловянного месторождения по упрощенной двухстадиальной флотационно-гравитационной схеме и на двух пробах, представляющих выделенные сорта руд, по развернутой схеме (трехстадиальной, с повышением начальной крупности обогащения и классификацией и обогащением шламов). Коэффициенты надежности составили 0,978 и 0,977 [12].

При определении достоверности данных МТО коры выветривания карбонатитового редкометалльного месторождения было проведено обогащение средней пробы с добавлением второй стадии (при крупности -0,2 мм) и доизмельчением крупного (+1 мм), нераскрытого в процессе природного выщелачивания материала. В результате была определена следующая формула для пересчета показателей одностадиального обогащения материала -I, 0+0,074 мм ( $\epsilon_1$ ) на ожидаемые при использовании полной схемы ( $\epsilon_{полн}$ ):

$$\epsilon_{полн} = \epsilon_1 + 0,4(100 - \epsilon_{шл} - \epsilon_1), \quad (6)$$

где  $\epsilon_{шл}$  - количество ниобия в небогащавшихся по обеим схемам первичных шламах (-0,074 мм), %.

#### Обработка результатов исследований проб

Обработка экспериментальных данных при МТОК проводится с использованием ЭВМ и включает три этапа:

1. Расчет средних значений и коэффициентов вариаций параметров вещественного состава и технологических свойств руды. Средние значения параметров обычно не играют большой роли, так как являются формальными (среднеарифметическими), не учитывают запасов руд или металла, представленных каждой пробой. Важны значения коэффициентов вариации: они характеризуют изменчивость на месторождении вещественного состава и технологических свойств руд. Обычно к выдержанным параметрам относят те, величины коэффициентов вариации которых находятся на уровне 20%, средней выдержанности - 50% и к невыдержанным - 100%.

2. Определение коэффициентов парной корреляции позволяет выявить наличие или отсутствие связи параметров вещественного состава руд между собой и с технологическими показателями. Зачастую по коэффициентам парной корреляции получают весьма ценную информацию без каких-либо дополнительных исследований. Так, при МТОК оловянного месторождения с двумя рудными телами, в одном из кото-

рых олово было представлено вторичным гипогенным касситеритом по тиллиту, а во втором - станнином, без анализа монофракций выявлена ассоциация серебра по первому телу с галенитом (коэффициенты парной корреляции выше граничных только для серебра и свинца), а во втором - со станнином (корреляция содержаний серебра с содержаниями меди и олова при отсутствии связи с содержанием свинца).

3. Определение множественной регрессии для величины извлечения основного ценного компонента или других критериев технологических свойств или вещественного состава руды и вывод формул для прогнозирования этих критериев по оперативно определяемым параметрам (отобранным по наибольшим значениям коэффициентов парной корреляции).

Возможности обработки полученного при МТОК массива информации кратко могут быть проиллюстрированы результатами изучения трех редкометалльных месторождений.

При обработке результатов МТО коры выветривания карбонатитового редкометалльного месторождения (объект 3 по табл.2) выявлена большая изменчивость как исходных содержаний тантало-ниобатов (коэффициенты вариации около 100%), так и технологических свойств (коэффициенты вариации величин извлечений ниобия и тантала также до 100%). При этом показана разобщенность ниобиевой и танталовой минерализации (коэффициенты парной корреляции содержаний и извлечений 0,19 и -0,33 при доверительной границе 0,4 с наибольшей допустимой ошибкой 5%). Большой коэффициент вариации удельной радиоактивности руд (импульсов  $\gamma$ -излучения в единицу времени на 1% содержания  $Nb_2O_5$  в 1 г вещества) 140,9% обусловлен генезисом месторождения (разной степенью выщелоченности карбонатитов и радиоактивных тантало-ниобатов) и делает непригодным этот критерий для оценки качества руд. Показано практическое отсутствие влияния на технологические свойства литологического состава первичного субстрата и продуктов выщелачивания, полноты извлечения руд в массиве месторождения. Технологические свойства определяют только два параметра, характеризующих размер выделений тантало-ниобатов в первичном субстрате, полноту их освобождения из сростков и разрушение в процессе выщелачивания: количество ниобия во всей руде и в шламовой, составляющей ее. Формула и номограмма определения величин извлечения ниобия по этим двум параметрам обеспечивает коэффициент множественной корреляции 0,93 и стандартную ошибку регрессионной оценки 9,0%.

2561

На редкометалльном (колумбит, пирохлор) месторождении с сильно метасоматически измененными рудами (объект 4 по табл.2) при коэффициенте вариаций содержаний ниобия, тантала и циркония около 40% вариации величин извлечения их в концентрат значительно меньше и составили для ниобия и тантала менее 20, а циркония - менее 10%. Основными параметрами, определяющими технологические свойства ниобия и тантала (в рудах данного месторождения присутствуют в одних минералах, что подтверждается высоким коэффициентом парной корреляции их содержаний  $r = 0,85$  при доверительной границе 0,62 при ошибке 0,01%), являются содержания ниобия, отношение содержаний циркония и гафния, петрогенная основа и расположение руд в плане месторождения. Составленная по этим параметрам формула позволяет прогнозировать извлечение ниобия (и тантала - коэффициент парной корреляции 0,84) с коэффициентом множественной корреляции 0,76 при стандартной ошибке регрессионной оценки 8,11%.

По данным обработки параметров вещественного состава и технологических свойств в ЭМ определено положительное влияние на содержание в рудах и извлечение из них тантало-ниобатов увеличения количества в руде  $K_2O$  (мусковита) и уменьшения  $Na_2O$  (рибекита) и практическое отсутствие влияния, считавшегося ранее определяющим качество руд, содержания  $Li_2O$  (литиевых олюд). Тонкая вкрапленность тантало-ниобатов (средний размер зерен менее 0,1 мм), большая измененность руд не позволили успешно применить методы технологической минералогии: коэффициенты парной корреляции величин извлечения ниобия с определенным с большим трудом минералогическим анализом средним размером зерен колумбита составил 0,88 (а с экспрессно определяемым содержанием ниобия в руде - 0,64).

При МГО тантало-ниобиевого (пирохлор, много реже колумбит, эпенит) месторождения (объект 5 по табл.2) с неизменными рудами показана значительно меньшая изменчивость технологических свойств (извлечение ниобия и тантала имеют коэффициенты вариации 10-15%) в сравнении с качеством руд (коэффициенты вариации содержаний около 40%). Руды имеют очень выдержанную относительную радиоактивность ( $\gamma$ -излучение в единицу времени на 1%  $Nb_2O_5$  в 1 г вещества) - коэффициент вариации 12,9%, что позволяет использовать этот критерий не только для оценки содержания ниобия в руде (коэффициент парной корреляции 0,79), но и даже сугубо ориентиро-

вочно прогнозировать технологические свойства (коэффициент парной корреляции с извлечением ниобия 0,69, с извлечением тантала 0,79 при доверительной границе 0,62 с минимальной ошибкой - 0,1%). На равнительно мелкокрапленных рудах (средний размер зерен пирохлора 0,13 мм) приемы технологической минералогии не дали каких-либо преимуществ перед прямым технологическим экспериментом: коэффициент парной корреляции извлечения ниобия со средней величиной зерен пирохлора 0,32, а с содержанием ниобия в руде 0,82. Других (кроме содержания ниобия в руде) параметров, существенно влияющих на технологические свойства руд, установить не удалось, поэтому формула множественной регрессии выведена не была. Выявлены два фактора, определяющие относительную измельчаемость руд: содержание в руде криолита ( $r = 0,68$ ) и окиси кремния ( $r = -0,64$ ). Без каких-либо дополнительных исследований установлено, что радиосактивность в большей мере обусловлена содержанием в руде урана ( $r = 0,70$ ), в меньшей - тория ( $r = 0,50$ ), причем с тантало-ниобатами больше связан уран ( $r = 0,84$ , для тория  $r = 0,20$ ), а торий - с цирконом ( $r = 0,90$ , для урана  $r = 0,33$ ).

На объекте 5 было также испытано применение выявления парных зависимостей не только натуральных значений параметров вещественного состава и технологических свойств руд, но и логарифмов их значений. В ряде случаев получено усиление связей: коэффициент парной корреляции между содержанием в руде ниобия и ее радиосактивностью возрос с 0,79 до 0,93; между содержанием в руде и извлечением в гравитационный концентрат тантала с 0,66 до 0,80. Некоторые коэффициенты парной корреляции практически не изменились: между содержанием в руде и извлечением в гравитационный концентрат ниобия 0,78 и 0,82; извлечения ниобия и радиосактивностью (удельной на 1% содержания  $Nb_2O_5$ ) черного концентрата -0,55 и -0,54 (что подтверждает общую тенденцию лучшей обогатимости более богатых, а следовательно крупновкрапленных руд, и худшие технологические свойства радиосактивных разновидностей тантало-ниобатов). В целом показана принципиальная возможность усиления некоторых связей при сохранении единых тенденций за счет изменения формальных приемов машинной обработки результатов.

На месторождении касситерито-сульфидных руд (объект 2 по табл.2) показано, что на извлечение олова в гравитационные концентраты практически влияет только размер вкрапленности касситерита, количество в руде сульфидных минералов при использовании

Флотационно-гравитационной схемы (см. рис.1) на величину извлечения олова практически не влияет. В свою очередь, крупность выделений касситерита связана с содержанием олова в руде, поэтому этот параметр может служить в качестве основного для прогнозирования технологических свойств руд. Картирование месторождения было проведено по олову - по технологическим типам, а попутным компонентам: меди и вольфраму - по продуктивности, а также были выделены участки руд различной измельчаемости [20].

При МТО о элементами ТК объекта I (см.табл.2) не было выявлено параметров вещественного состава руд, определяющих обогатимость гравитационными методами, из-за чрезвычайно тонкой вкрапленности вторичного по таллиту касситерита в рудах тела "А", и наличия олова в станиине в рудах тела "Б". Были выделены участки руд с различной измельчаемостью, но главное - по результатам обогащения малых проб (по априорной схеме, см.рис.1) были определены основные принципы создания оптимальной технологии переработки и спрогнозированы ожидаемые результаты переработки руд, полностью подтвердившиеся при последующих лабораторных, а затем и полупромышленных испытаниях.

Важной задачей МТО и ТК является установление наличия, а при ТК и пространственного расположения руд различных технологических типов и сортов.

**Технологический сорт** - это обособленная часть руд, имеющих принципиально единую схему технологической переработки, но дающих различные величины технологических ( $\epsilon$  при  $k$  или  $\beta = const$ , измельчаемость) и (или) технологико-экономических показателей ( $K_3, P_{из}$ ).

**Технологический тип** - это обособленная часть руд (составляющих обычно не менее 10% общих запасов месторождения), требующих для получения достаточно высоких технологических показателей применения принципиально разных технологических схем.

Для выделения технологических сортов руд, обогащаемых традиционными для них методами, обычно используются технологические классификации, причем те из них, в которых введены величины извлечения ценного компонента в концентрат. Для оловянных руд это классификации Т.Г.Фоменко и И.П.Сорокина (1958); Е.Н.Вишневого (1962); Д.Б.Голандского (1963); С.И.Полькина и С.Ф.Лаптева (1974). Наиболее обобщающаяся классификация - Е.Н.Вишневого, на основе

1956

Т а б л и ц а 8

Классификация по обогатимости руд с тяжелыми минералами, извлекаемыми гравитационными методами (группа I ценных минералов  $\rho \approx 7 \text{ г/см}^3$  - таллалит, касситерит, вольфрамит; группа 2 с  $\rho = 4-6 \text{ г/см}^3$  - пирохлор, колумбит, гагчеттолит, фергуссонит, зиннит, конарит, циркон, шенелит)

Характеристика размера выделенных ценных минералов		Основные характеристики обогащения руд		Характеристики схемы		Характеристика обогатимости руд гравитационными методами			
Качественная выделенная	Средневзвешенный размер, мм	Относительное количество зерен мельче 40 мкм, %	Максимальная крупность зерен при обогащении, мм	начальная конечная	Рекомендуемый основной метод извлечения ценного минерала	Вид ценного минерала, группа	Извлечение		Качественная (при гравитационном обогащении)
							В черной концентрат	В белой концентрат	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Средняя	>2,0	0-5	6,0(12,0)	1,0(2,0)	Гравитационный	1	>95	>90	Весьма легкая остаточная
							2	>90	
Мелкая	2,0-1,0	5-7	6,0(12,0)	1,0(0,5)	Гравитационный	1	95-90	90-85	Легкообогащаемая
							2	90-85	
	1,0-0,5	7-10	4,0(2,0)	0,5	Гравитационный	1	90-85	85-75	
							2	85-80	
	0,5-0,2	10-20	2,0	0,2	Гравитационный	1	85-75	75-70	Хорошо обогатимая
							2	80-75	

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тонкий	0,2-0,1	20-30	2,0(1,0)	0,2	Гравитационный	1	75-70	70-60	То же
	0,1-0,07	30-40	0,5	0,2(0,1)	Гравитационный (для группы 2 возможен флотационный)	2	75-65	60-50	Труднообогатимые
	0,07-0,04	40-60	0,2	0,1(0,07)	Флотационный (для группы 1 возможен гравитационный)	1	70-60	60-50	Весьма труднообогатимые
	0,04-0,02	60-80	0,2(0,1)	0,07(0,04)	Флотационный	2	65-55	50-40	Условно труднообогатимые
Весьма тонкий	0,02-0,01	80-100	0,07(0,04)	0,07(0,04)	Флотационный	1	50-35	40-20	Необогатимые
	<0,01	~100	0,04	0,04	Флотация, селективная флотация	2	35-15	20-5	
						1	30-10	20-5	
						2	~10	5-0	
						1	~10	5-0	
						2	~5	0	

Примечание. Относительное количество зерен ценного минерала мельче 40 мкм в руде определяется по формуле  $q_{-40} = \frac{q_{-40M} + (q_X - q_M) \cdot 100\%}{q_X}$ , где  $q_{-40M}$  - количество зерен мельче 40 мкм, определенных минералогическим анализом,  $q_X$  и  $q_M$  - соответственно общее количество минерала в руде, определенного на основе количественного, химического или инструментального метода и минералогическим анализом.

которой и составлены представленные в табл.8 критерии выделения технологических сортов оловянных руд. Для тантало-ниобиевых и других редкометалльных руд имеются технологические классификации, дающие основные направления создания оптимальной технологии переработки руд в зависимости от их вещественного состава, но отсутствуют ожидаемые величины извлечений ценных компонентов (Полькин С.И., 1967). Поэтому автором на основе анализа литературных данных и собственного опыта была дополнена классификация (см.табл.8), которой можно пользоваться как для выделения технологических сортов по завершению МТО и ТК, так и при прогнозировании технологических свойств тантало-ниобиевых руд по данным минералогического анализа на самых ранних стадиях ГРП (см.табл.1 - "Детальные поиски").

Первичную технологическую типизацию руд рекомендуется проводить на принципиальной основе, общей для всех видов минерального сырья. Промышленным технологическим типом считается совокупность руд, обладающих особыми существенными качественными признаками, определяющими: (1) возможность и (2) принцип промышленной технологии переработки руд. На основе общих тенденций развития технологии переработки минерального сырья, в том числе комплексных оловянных руд [13,20], выделено три промышленных технологических типа руд (табл.9).

Таблица 9  
Технологическая типизация оловянных и тантало-ниобиевых руд по возможности и принципу промышленного использования

Технологический тип руд	Промышленная реализация	
	Возможность	Используемая технология
I (легкообогатимые)	Возможна	Традиционная (гравитационное стадийное обогащение, флотация шламов, доводка концентратов механическими и химическими методами обогащения до кондиционных)
II (труднообогатимые)	Возможна	Нетрадиционная (обогащение флотационными или гравитационными методами с получением некондиционных концентратов для специальной химико-металлургической переработки)
III (непромышленные)	Невозможна	при использовании любых современных методов и процессов

1956

К первому технологическому типу относят руды, при обогащении которых получают кондиционные концентраты, при последующей металлургической (химической) переработке которых освоёнными промышленностью процессами обеспечивается "сквозное" извлечение ценных компонентов в товарную продукцию выше минимального (в ранних стадиях ГРР обычно соответствует мировому или среднеотраслевому).

Ко второму технологическому типу относят руды, минимальное допустимое извлечение ценных компонентов из которых возможно лишь при условии переработки некондиционных продуктов обогащения специальными металлургическими (химическими) процессами, не имеющими в данное время широкого промышленного внедрения.

К третьему технологическому типу относят руды, содержащие достаточно высокие концентрации ценных компонентов, которые, однако, не могут на экономически целесообразной основе извлекаться с необходимой полнотой в товарную продукцию при современном уровне науки и технологии переработки минерального сырья.

Для моноэлементных руд в качестве критерия установления технологического типа используется величина извлечения (минимальная для оловянных и тантало-ниобиевых - на уровне 60-70%, для руд других цветных и благородных металлов - около 90%), для комплексных руд более объективным показателем является коэффициент комплексности использования сырья ( $K_3$ ).

В общем случае минимальное извлечение основного ценного компонента (или минимальная комплексность использования для многокомпонентных руд) даже для одного вида минерального сырья величина весьма динамичная и может в зависимости от целей, задач и стадии изучения объекта отвечать среднемировой или среднеотраслевой (более ранние стадии геологоразведочных работ) или обосновываться специальными технико-экономическими расчетами (завершение геологоразведочных работ).

Данная промышленная технологическая типизация особо пригодна именно для целей МТО (МТОК), проводимого на ранних стадиях геологоразведочных работ, когда еще окончательно не установлены более детальные и конкретные для руд данного месторождения определения и критерии технологических типов. Наличие технологических типов на месторождении окончательно устанавливается по завершению ТК, так как "основным условием выделения технологического типа руды является возможность его раздельной выемки и переработки" [19].

На завершающих этапах разведки месторождения с учетом накопленного материала критерии технологической типизации могут существенно уточняться вплоть до выделения типов на принципиально иной основе.

## З а к л ю ч е н и е

Анализ методических основ и практики проведения МТОК оловянных и редкометалльных месторождений позволил предложить достаточно стройную систему организации данного вида технологического опробования: от уточнения сущности работ (МТО и ТК) к выбору схем обогащения, критериев оценки и условий сопоставления технологических свойств руд и, наконец, к анализу полученного массива информации с целью определения связей и зависимостей параметров вещественного состава и технологических свойств руд, а для ТК и геометризацию руд различных технологических типов и сортов в объеме месторождения.

Критическое рассмотрение опыта малообъемного технологического опробования и картирования месторождений, ценный компонент которых представлен тяжелым минералом с полидисперсным характером выделений и низкими флотационными и магнитными свойствами, дало возможность на основе действующих общих положений инструктивных материалов сформулировать ряд положений, учитывающих специфические свойства подобных руд. Можно надеяться, что эти положения помогут в ряде случаев в деле повышения эффективности проведения столь важного и ответственного вида технологического опробования месторождений. Определение общих принципов организации и проведения технологического опробования и картирования оловянных и тантало-ниобиевых месторождений, особенно на ранних стадиях геологоразведочных работ, обеспечение сопоставимости результатов технологических экспериментов и система их анализа существенно сокращают затраты труда и времени и одновременно повышают достоверность технологического изучения новых объектов.

## Л и т е р а т у р а

1. ИВАНОВ О.П. Геолого-технологическое картирование словорудных месторождений (Методическое руководство). - Новосибирск: ЦНИИОЛОВО, 1981. - 37 с.
2. ИЗСИТКО В.М., ШАЛЫГИНА Н.Л. К вопросу геолого-минералогической основы технологической классификации сплошных и вкрапленных руд Норильского района. - Обогащение руд, 1983, № 2, с.28-32.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ зависимости между параметрами вещественного состава и показателями обогащения оловянных руд/О.П.Иванов, С.В.Ермаков, О.А.Руденко, Ю.С.Кушпаренко. - В кн.: Повышение эффективности производства и производительности труда в оловянной промышленности. Новосибирск: ЦНИИОлово, 1980, с.35-44.

4. КОЗЛОВСКИЙ Е.А. Минерально-сырьевая база и фактор времени. - Советская геология, 1979, № 3, с.9-22.

5. КОЦ Г.А., ЧЕРНОПЯТОВ С.Ф. Малообъемное технологическое опробование и картирование рудных месторождений при разведке. Инструкция № 1. - М.; ВИМС, 1979. - 47 с.

6. КОЦ Г.А., ЧЕРНОПЯТОВ С.Ф., ШМАНЕНКОВ И.В. Технологическое опробование и картирование месторождений. - М.: Недра, 1980. - 288 с.

7. КРУПКИН Н.В. Методические вопросы оценки комплексности использования сырья при переработке руд цветных металлов. - Цветные металлы, 1982, № 2, с.111-114.

8. КУШПАРЕНКО Ю.С., КОЛТУН А.Г. Определение оптимальных режимов схемы обогащения пеллит-сульфидной руды методом математической статистики. - Лаб. и технол.исслед. и обогащ.минер.сырья: Экспресс-информация/ВНИИ экон.минер.сырья и геол.-развед.работ. ВИЭМС, 1980, вып.5, с.1-14.

9. КУШПАРЕНКО Ю.С., КРАКОВ В.Г. Геолого-технологические особенности оловянных проявлений Баджала (Приамурье). - Геол., методы поисков и разведки м-ний метал.полезн.ископаемых. Экспресс-информация/ВНИИ экон.минер.сырья и геол.-развед.работ. ВИЭМС, 1981, вып.6, с.1-10.

10. КУШПАРЕНКО Ю.С., КУШПАРЕНКО Л.Ф. Флотация сульфидных минералов повышенной крупности в кипящем слое. Методические рекомендации № 4. - М.; ВИМС, 1979, с.14.

11. КУШПАРЕНКО Ю.С. Малообъемное технологическое опробование и картирование и основы технологической типизации минерального сырья при разведке месторождений. - В кн.: Геохимические поиски редкометалльных месторождений. М.; ИМГРЭ, 1982, с.74-80.

12. КУШПАРЕНКО Ю.С. Методика малообъемного технологического опробования и картирование месторождений комплексных сульфидо-держащих оловянных руд. - Обогащение руд, 1981, № 3, с.6-11.

13. КУШПАРЕНКО Ю.С. Универсальная технологическая типизация сульфидсодержащих оловянных руд. - Советская геология, 1980, № 11, с.30-42.

14. МЕТОДИЧЕСКИЕ указания о проведении геологоразведочных работ по стадиям. - М.: Мингео СССР (утв.15 декабря 1975 г.).

15. МЕШЕРЯКОВ Н.Ф. Флотационные машины и аппараты. - М.: Недра, 1982. - 200 с.

16. ОПЫТ проведения работ по малообъемному технологическому опробованию и картированию оловянных руд/Г.А.Коц, И.В.Шестакова Ю.С.Кушпаренко и др. - Лаб. и технол.исслед. и обогащ.минер.сырья. Экспресс-информация/ВНИИ экон.минер.сырья и геол.-развед. работ. ВИЭМС, 1981, вып.1, с.10-19.

17. СЕМИШИНА Р.А., ЧЕПУРИН А.Г., СЕРЕБРЯКОВ В.А. Экономическая оценка технологических схем обогащения руд цветных металлов. Методические рекомендации № 21. - М.; ВИМС, 1982, с.32.

18. СПРАВОЧНЫЕ данные о методах измерения химического состава горных пород, руд и продуктов их переработки. - М.: Недра, 1979. - 88 с.

19. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ опробование месторождений цветных металлов в процессе разведки. (Временное методическое руководство). - М.: Минцветмет СССР, 1982, с.34; М.: ВИЭМС, 1983, с.37.

20. ТЕХНОЛОГИЯ обогащения комплексных оловянных руд. - М.: Недра, 1981. - 229 с.

21. ШЕПЕТОВ Н.И. Опыт оценки комплексных руд оловянных месторождений. - В кн.: Технология переработки оловянных руд и концентратов различного вещественного состава. Новосибирск, 1979, с.54-56.

## О г л а в л е н и е

Введение . . . . .	I
Общие специфические особенности и виды малообъемного технологического опробования редкометалльных и оловянных месторождений . . . . .	2
Соотношение технологических и минералогических методов при исследовании массовых количеств малых проб . . . . .	II
Схемы обогащения малых проб танталоникобовых и оловянных руд . . . . .	17
Критерии оценки качества руд . . . . .	25
Относительная измельчаемость руд при МТОК . . . . .	31
Сопоставимость результатов исследования проб руд различного качества . . . . .	33
Достоверность результатов технологических экспериментов при МТОК . . . . .	34
Обработка результатов исследований проб . . . . .	36
Заключение . . . . .	45
Литература . . . . .	45

1981

УДК 622.7:550.8

Кушпаренко В.С. Малообъемное технологическое опробование и картирование тантало-ниобиевых и оловянных месторождений. - М., 1984, 47 с., ил. - (Лаб. и технол.исслед. и обогащ. минер. сырья. Обзор/ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ. ВИЭМС). - Библиогр.: с. 45-47 (21 назв.).

В обзоре обобщен опыт малообъемного технологического опробования и картирования тантало-ниобиевых и оловянных месторождений. Уточнены задачи и объем отдельно малообъемного технологического опробования и картирования, их место в стадийном процессе геологоразведочных работ.

Рассмотрены вопросы ускорения и упрощения выбора схем обогащения, критериев оценки технологических свойств, условий сопоставимости их, определения достоверности и обработки полученных данных, возможностей прогнозирования технологических показателей с использованием приемов и методов технологической минералогии.

**Врий Сергеевич Кушпаренко**

**Малообъемное технологическое опробование и картирование тантало-ниобиевых и оловянных месторождений**

Ведущий редактор Н.С.Квитная  
Технический редактор Р.И.Пашина  
Корректор Х.Х.Кальмулиева

Подписано к печати 10.12.84.

Формат 60×84/16

Тираж 668 экз.

Печ. л. 3,0

Заказ 1956

T22578

Уч.-изд. л. 2,94

Цена 59 коп.

Отделение НИИ ВИЭМС, 123853 Москва, 3-я Магистральная, 38.  
ОГЛЮП ВИЭМС, 123242 Москва, Б. Грузинская, 4/6

1981