

УДК 622.765.6

*А.В. Курков, И.Н. Горохов, А.А. Астафьев, Р.И. Глазунова,  
В.В.Юдин, С.Г. Кондинский, Е.В. Чертогова*

**СОЗДАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ФЛОТОГРАВИТАЦИОННОЙ ДОВОДКИ  
РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ  
ЭТЫКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Семинар № 21

Этыкинское месторождение находится в Забайкальском регионе и принадлежит к новому генетическому типу танталовых месторождений. Месторождение пространственно связано с массивом альбитизированных амазонитовых гранитов с повышенными концентрациями тантала и сопутствующих элементов: ниобия, олова, лития, рубидия и цезия.

По запасам тантала Этыкинское месторождение является одним из крупнейших в России, однако, характеризуется убогим его содержанием, составляющим 0,011-0,013 %. Главные концентраты тантала в этих рудах – танталит-колумбит и пирохлор-микрولит, с которыми соответственно связано 14,8 % и 62,8 % тантала.

Переработка руд Этыкинского месторождения осуществляется на ОАО «Забайкальский ГОК». По рекомендованной для переработки руд технологии предусмотрено первичное обогащение гравитационными и флотационными методами, доводка черновых концентратов и получение из концентратов доводки фтортанталата калия гидрометаллургическими процессами.

В настоящее время на действующей обогатительной фабрике ОАО «ЗабГОК» на стадии первичного обогащения пока реализована только гравитационная часть рекомендованной схемы, которая обеспечивает получение черновых 0,5-1,0 %-ных танталовых концентратов. Черновые гравитационные концентраты после сушки доставляются в отделение доводки, где в соответствии с требованиями последующего гидрометаллурги-

ческого передела содержание тантала в концентрате необходимо повышать до 7,0 %. Доводка черновых концентратов проводится по магнитно-гравитационной схеме, позволяющей эффективно удалять в хвосты магнетит, железный скрап, топаз и полевые шпаты.

Как показала практика работы действующей обогатительной фабрики и отделения доводки, одним из факторов, осложняющих получение концентратов требуемого качества, является присутствие в Этыкинских рудах минералов тяжелых цветных металлов, в частности, сульфидов – пирита, арсенопирита и галенита. Содержание сульфидных минералов в исходной руде относительно низкое и на разных участках месторождения колеблется в пределах 0,02-0,10 %. Однако, при гравитационном обогащении сульфиды, обладающие, как и танталовые минералы, высоким удельным весом, интенсивно переходят в тяжелые фракции и разубоживают редкометалльные концентраты. При обогащении отдельных участков месторождения с повышенным содержанием сульфидов получить 7 %-е танталовые концентраты практически невозможно, вследствие высокой степени концентрирования в них сульфидов (до 14 % по содержанию серы общей). Этим обстоятельством была обусловлена необходимость поиска путей по удалению сульфидов при доводке гравитационных концентратов.

Очевидно, что при близости удельных весов эффективное разделение танталосодержащих и сульфидных минералов при доводке гравитационных концентратов может быть

Таблица 1  
 Результаты очистки гравитационных концентратов от сульфидов  
 флотогравитацией в лабораторных условиях, %

Продукты обогащения	Выход %	Та		S <sub>общ.</sub>	
		содержание	извлечение	содержание	извлечение
Сульфидный продукт	6,5	0,26	1,5	17,55	72,1
Промпродукт	5,6	0,270	1,4	3,99	14,3
Танталовый концентрат	87,9	1,21	97,1	0,24	13,6
Итого	100,0	1,10	100,0	1,57	100,0
Сульфидный продукт	13,9	0,11	0,5	29,49	71,8
Промпродукт	15,4	0,30	1,4	6,08	16,4
Танталовый концентрат	70,7	6,60	98,1	0,95	11,8
Итого	100,0	4,76	100,0	5,71	100,0

достигнуто за счет использования процессов, основанных на изменении физико-химических свойств поверхности минералов, например, флотации, пенной сепарации и флотогравитации.

Наиболее оперативно в отделении доводки ОАО «ЗабГОК» реально внедрение технологии с использованием флотогравитации, так как для этого на предприятии имеется все необходимое оборудование (концентрационные столы, шнековые питатели и проч.) и не требуется доизмельчение гравитационных концентратов.

Принципиальная возможность применения флотогравитации для удаления сульфидов на стадии доводки проверялась в лабораторных условиях на черновых концентратах и конечных концентратах гравитационной доводки. Разделение осуществлялось на лабораторном концентрационном столе.

В процессе лабораторных исследований (рис. 1) соблюдались условия, необходимые для эффективного проведения флотогравитации: плотность пульпы в обработке реагентами не менее 50 % тв. и дополнительное аэрирование обработанного реагентами рудного материала. Реагентный режим основывался на ис-

пользовании в качестве собирателя бутилового ксантогената в сернокислой среде при значениях pH=5,0-6,0. Выбор кислого реагентного режима был обусловлен необходимостью восстановления поверхностных свойств минералов после сушки черновых концентратов. Для создания сульфидной пленки применялся аполиарный реагент ИС-40.

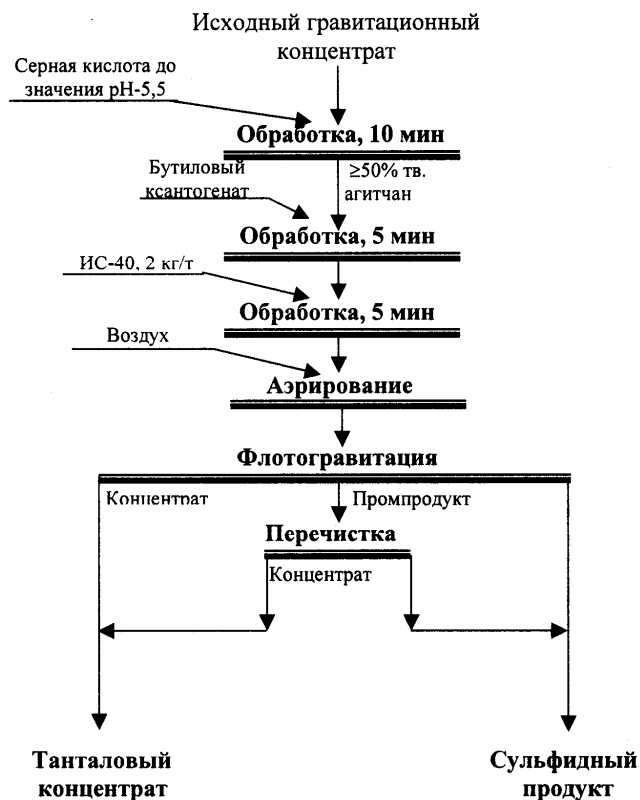


Рис. 1. Схема лабораторных и укрупненных исследований по флотогравитации



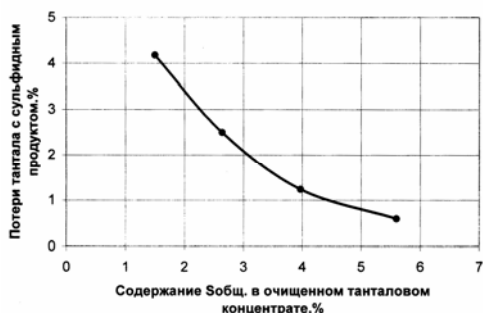
**Рис. 2. Зависимость потерь тантала от глубины очистки**

Расход бутилового ксантогената на основной флотогравитации определен в пределах  $0,4 \div 0,6$  кг/т исходного питания флотогравитации. Разворот веера производился за счет изменения угла наклона деки стола, а полнота удаления сульфидной пленки в хвосты достигалась регулированием расхода смывной воды.

При проведении лабораторных исследований содержание сульфидов в гравитационных концентратах снижалось ~ в 6 раз (табл. 1), что подтвердило возможность применения флотогравитации для удаления сульфидов из гравитационных танталовых концентратов.

Для определения концепции построения технологической схемы были проведены укрупненные испытания при оптимальных расходах реагентов, кг/т исходного питания:  $H_2SO_4-3,0$ ; бутилового ксантогената  $0,5$ ; ИС-40  $2,0$ .

Испытания проводились в период резкого повышения содержания сульфидов в исходной руде и ухудшения в связи с этим качества конечных концентратов магнитно-гравитационной доводки, характеризующиеся низким содержанием тантала и высоким – сульфидов. В пробах концентратов магнитно-гравитационной доводки, поступавших на исследование, содержание тантала составляло  $2,88-4,95$  % и серы общей –  $13,40-14,72$  % при крупности рудного материала  $29,4-49,0$  % класса  $+0,2$  мм. При переработке таких концентратов в ходе испытаний была установлена целесообразность гравитационного доизвлечения тантала из промпродукта кон-



центрационного стола флотогравитации и контрольная очистка от сульфидов танталовых концентратов так же флотогравитацией.

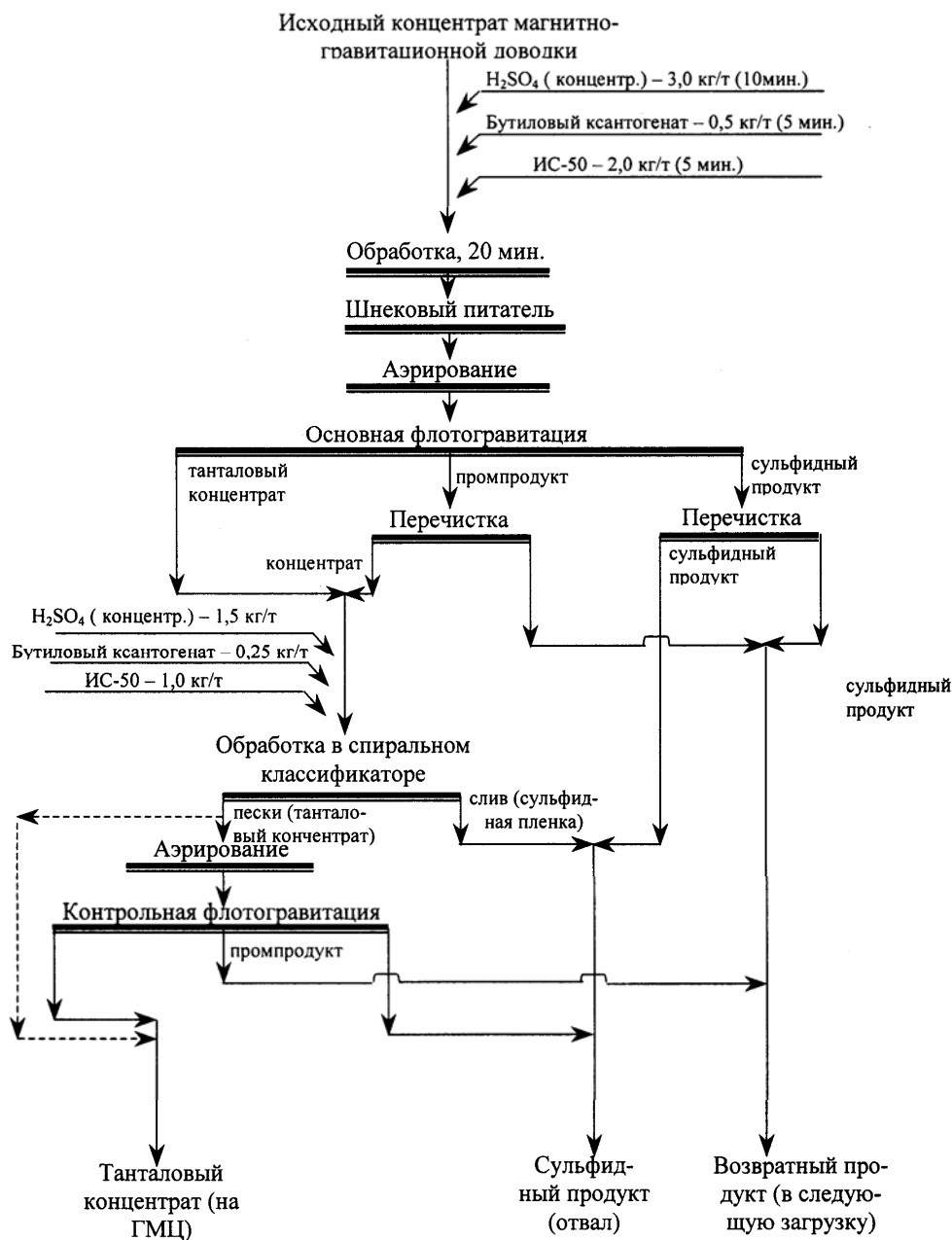
Для определения необходимой степени очистки была снята зависимость потерь тантала с отвальным сульфидным продуктом от содержания серы общей в танталовом концентрате после очистки (рис. 2). Полученные результаты свидетельствуют о том, что потери тантала с сульфидными возрастают с уменьшением глубины очистки. По согласованию со специалистами гидрометаллургического производства был установлен допустимый уровень содержания S<sub>общ.</sub> в конечных концентратах обогащения  $\leq 3,0$  %, при потерях тантала не выше 4 %.

Как показал ситовый анализ сульфидной пленки, потери тантала связаны с тонкими классами крупности минус  $0,06$  мм, что может являться следствием механического захвата при нарушении технологических параметров, например, расхода смывной воды. Для снижения таких потерь было признано целесообразным введение операции перечистки сульфидного продукта.

При очистке танталовых концентратов по схеме с перечистками промпродукта и

**Таблица 2**  
**Усредненные показатели укрупненных опытов удаления сульфидов из концентратов магнитно-гравитационной, %**

Вариант схемы	Продукты обогащения	Выход	Ta		S <sub>общ.</sub>	
			Содержание	Извлечение	Содержание	Извлечение
Основная и контрольная флотогравитация с гравитационной перечисткой промпродукта и сульфидной пленки	Сульфидный продукт	53,5	0,166	1,9	23,95	89,8
	Танталовый продукт	46,5	10,93	98,1	3,19	10,2
	Исх. конц-т	100,0	4,73	100,0	14,40	100,0



**Примечание:** - - - пунктиром показан вариант без контрольной флотации при содержании  $S_{\text{общ}}$  в исходном концентрате ниже 7,0%.

Рис. 3 Рекомендуемая технологическая схема очистки танталовых концентратов магнитно-гравитационной доводки

сульфидной пленки в отвал удалялось более 50 % пустой породы (табл. 2), состоящей, в основном, из сульфидов и топаза. Количество удаленных сульфидов составляло 85 % после

основной флотогравитации и около 95 % при использовании контрольной флотогравитации. Потери тантала с отвальным продуктом составляли ~ 2,0 % (в пределах согласованных с гидрометаллургами норм).

В результате укрупненных испытаний была рекомендована технологическая схема очистки от сульфидных минералов конечных концентратов магнитно-гравитационной доводки (рис. 3), включающая:

- обработку исходного рудного материала при плотности пульпы не менее 50 % тв. серной кислотой при расходе до 3,0 кг/т в течении 10 мин., бутиловым ксантогенатом – 0,5 кг/т (5 мин.), аполярным реагентом ИС-40 – 2,0 кг/т (5 мин);

- аэрирование обработанного реагентами рудного материала;

- основную флотогравитацию на концентрационных столах;

- гравитационные перемешки промпродукта и сульфидного продукта основной флотогравитации на концентрационных столах;

- вторичную обработку реагентами (серной кислотой, бутиловым ксантогенатом и ИС-40), аэрирование концентрата основной флотогравитации с последующей контрольной флотогравитацией на концентрационных столах.

С целью отработки отдельных узлов предложенной схемы, уточнения технологических параметров и выбора необходимого оборудования на опытной обогатительной фабрике ОАО «ЗабГОК» была создана опытно-промышленная установка. В качестве основного оборудования для флотогравитации на установке используются столы СКО-2 (с диагональным расположением рифлей на деке) и контактные чаны с коническим днищем для обработки реагентами.

При освоении опытной установки труд-

ности были связаны с обработкой рудного материала реагентами и аэрированием пульпы.

Высокий удельный вес концентратов доводки 5,0-5,5 г/см<sup>3</sup> и, как следствие, быстрое расслоение пульпы потребовало интенсивного ее перемешивания за счет использования мешалок с тремя ярусами лопастей и высокой скорости вращения вала (400 об/мин). Однако, и в этом случае не удалось обеспечить непрерывную обработку пульпы реагентами, т.е. посредством ее перелива из чана в чан, что предопределило организацию работы установки в периодическом режиме с последовательной обработкой пульпы реагентами в одном контактном чане. Равномерная разгрузка контактного чана после обработки пульпы реагентами достигалась при угле конусности днища не более 45° при включенной мешалке.

Для дополнительного аэрирования пульпы наиболее рациональным оказался способ подачи воздуха через трубчатый перфорированный азратор, размещенный в герметичном коробе с наклонным днищем, в который разгружается обработанная реагентами пульпа и в небольшом количестве добавляется смыная вода. Дополнительная обработка материала воздухом, также происходила в процессе транспортировки материала из аэрационного короба на ложную деку стола шнековым питателем.

Технологическая настройка опытно-промышленной установки показала, что флотогравитация проходит эффективно при условии равенства высот клиновидных рифлей (вдоль поперечных линий) по всем зонам деки концентрационных столов.

Периодическая работа опытной установки была организована таким образом, что все промпродукты перемешки объединялись и возвращались в контактный чан на обработку с

Таблица 3

*Технологические показатели очистки танталовых концентратов магнитно-гравитационной доводки (при разовых загрузках исходных концентратов), %*

Продукты обогащения	Выход	Та		S <sub>общ.</sub>	
		Содержание	Извлечение	Содержание	Извлечение
Готовый танталовый концентрат	27,0÷40,0	не менее 7,0÷8,5	80,0÷85,0	0,8÷1,5	1,5÷2,5
Возвратные промпродукты	~10,0		до 15,0		2,5÷12,5
Сульфидный продукт (отвал)	50,0÷63,0	0,03÷0,26	2,0÷4,0		85,0÷95,0
ИТОГО	100,0	2,0÷6,2	100,0	6,3÷17,2	100,0

реагентами совместно со следующей порцией рудного материала.

Испытания установки проводились в течение одного месяца. Опытная партия рудного материала, подвергающегося очистке, состояла из отдельных порций с содержанием тантала 2,0–6,2 % и Собщ 6,8 – 17,2 %. После очистки (табл. 3) были получены 7,0–8,5 %-е танталовые концентраты с содержанием Собщ не более 1,5 %. В отвал в виде сульфидной пленки и легкой фракции выводилось от 50 % до 60 % пустой породы, потери тантала с которой не превышали 4,0 %.

В процессе опытно-промышленных испытаний было установлено, что очистку концентратов с содержанием Собщ ниже 7,0 % можно осуществлять без контрольной флотогравитации.

Технологические показатели очистки танталовых концентратов магнитно-гравитационной доводки сульфидов, полученных на опытно-промышленной установке, подтвердили результаты лабораторных и укрупненных испытаний. При этом не потребовалось существенного изменения технологических параметров и корректировки реагентного режима.

Удельная производительность флотогравитации на опытно-промышленной установ-

ке, при которой были получены достигнутые технологические показатели составила 0,0125 т/м<sup>3</sup>·час. Этот параметр положен в основу проектирования промышленной установки по очистке танталовых концентратов магнитно-гравитационной доводки от сульфидов с применением концентрационных столов СКО–7,5. Выбор и изготовление другого технологического оборудования – контактных чанов и аэрирующих устройств производится с учетом конструктивных особенностей оборудования, задействованного на опытно-промышленной установке.

Весь комплекс проведенных работ – укрупненных лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний подтверждает целесообразность и возможность реализации в промышленном масштабе технологии очистки концентратов магнитно-гравитационной доводки от сульфидов на основе применения флотогравитации. Создание промышленной установки флотогравитации в отделении доводки ОАО «Забайкальский ГОК» расширят технологические возможности для получения конечных концентратов обогащения из руд Этыкинского месторождения, предназначенных для последующей гидрометаллургической переработки.

#### **Коротко об авторах**

*Курков А.В., Горюхов И.Н., Астафьев А.А., Глазунова Р.И.* – ФГУП «ВНИИ химической технологии».  
*Юдин В.В., Кондинский С.Г., Чертогова Е.В.* – ОАО «Забайкальский ГОК».

## **ДИССЕРТАЦИИ**

### **ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ**

<i>Автор</i>	<i>Название работы</i>	<i>Специальность</i>	<i>Ученая степень</i>
<b>ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ</b>			
ЛЕОНОВ Виктор Иванович	Исследование решений гидродинамических задач притока жидкости (газа) к скважинам	25.00.17	к.т.н





