

## Отзыв

на диссертацию Татьяны Александровны Чикишевой «Минералого-технологические характеристики руды Правоурмийского месторождения олова (Хабаровский край), представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 25.00.05 – "минералогия и кристаллография".

Диссертационная работа Т.А. Чикишевой посвящена изучению минералогии Правоурмийского оловорудного месторождения с целью оценки возможности комплексной переработки руд. В процессе исследований диссертант изучил текстурно – структурные особенности и минеральный состав руды с упором на характер взаимоотношений рудных минералов. Были определены физические свойства и составы рудных минералов, изучены включения в них. С помощью растровой электронной микроскопии диагностированы тонкие включения минеральных фаз, включая ранее неизвестные. Изучены минералогические особенности руды, влияющие на ее обогатимость, в том числе сростки касситерита с рудными и породообразующими минералами, установлены их плотность и выявлены причины, влияющие на потерю олова в хвостах гравитационного обогащения. Также Татьяна Александровна провела минералого-технологическую оценку продуктов обогащения и показала возможность извлечения дополнительных ценных компонентов руды.

В основу фактического материала легли 5 технологических проб оловосодержащей руды с месторождения Правоурмийское и продукты её обогащения. Также использованы материалы геологических и технологических отчетов, материалы по технико-экономическому обоснованию, результаты минералого-технологического картирования. Проведено оптико-минералогическое изучение проб (более 300) исходной руды и продуктов обогащения. Изучено более 50 шлифов и около 150 аншлифов и 30 брикетных шлифов, изготовленных из продуктов обогащения руды. Руды и минералы исследованы минераграфическими методами с применением методов растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа.

Диссертационная работа Т. А. Чикишевой состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 109 наименований. Диссертация общим объемом 140 страниц, содержит 31 таблицу и 90 рисунков.

**В главе 1 представлен общий анализ данных по теме исследований,** показано состояние оловодобывающей промышленности в мире и России и приведена характеристика геологического строения и генезиса Правоурмийского месторождения.

На основании литературных данных дано описание геологического строения рудного поля и месторождения. Рудное поле месторождения Правоурмийское занимает центральную часть Верхнеурмийского рудного узла и сложено породами позднемелового баджальского вулканоплутонического комплекса, включающего вулканиты, субинтрузивные (экструзивные) и интрузивные образования. Основными продуктивными образованиями рудной зоны являются кварц-топазовые грейзены. На месторождении выделяют 6 стадий минерализации, объединённых в три этапа: дорудный молибденовый, продуктивный оловорудный грейзеновый и пострудный антимонитовый. Продуктивный этап включает в себя касситерит-кварц-топазовая и кварц-турмалин-сульфидная стадии, характеризующиеся наибольшим разнообразием. Именно на этих стадиях отложились минералы, представляющие промышленную ценность. По представлениям предшествующих исследователей (ДВИМС, ЦНИИОлово) руды Правоурмийского месторождения по преобладающему размеру зёрен касситерита (0,1 - 1 мм) относятся к средне-мелковкрапленному типу, а по содержанию олова к рудам среднего

качества. Описаны две основные формы нахождения олова – касситерит и станнин и типы минеральных сростаний.

В качестве небольшого замечания к этой главе хочу отметить, диссертант на стр 13 при характеристике оловоносных месторождений пишет: «Среди промышленных месторождений олова выделяют: магматические, в том числе пегматитовые, скарновые и грейзеновые. Последние 2 типа - скарновые и грейзеновые к магматическим месторождениям нельзя относить. Они связаны с магматизмом, но являются постмагматическими высокотемпературными гидротермально-метасоматическими.

Главы диссертации 2, 3 и 4 содержат основные результаты исследований диссертанта и посвящены обоснованию 3-х защищаемых положений.

### **В главе 2 детально рассмотрен минеральный и химический состав руды.**

Установлено, что все 5 изученных технологических проб руды близки по химическому составу и в целом имеют схожие морфологические и гранулометрические характеристики, однако автором ничего не сказано насколько адекватно они отражают типы руд месторождения. Текстура представленных руд неоднородная, пятнистая, прожилковая, брекчиевидная. Структура разномышечная, от тонко- до среднезернистой, участками порфиристая. Изучение их показало, что основными компонентами проб руды являются оксиды кремния и алюминия с преобладанием по массе оксида кремния. Главными породообразующими минералами являются кварц, топаз второстепенным - турмалин. К основным концентраторам олова относятся касситерит и к второстепенным - станнин. Наиболее распространенными рудными минералами являются арсенопирит, лёллингит и сульфиды меди (халькопирит и борнит). Попутным ценным компонентом в руде является вольфрамит.

Автором проведены детальные петрографические и минералогические исследования этих проб руды и все особенности ее состава детально проиллюстрированы микрофотографиями шлифов и аншлифов. Определён размер естественной вкрапленности касситерита, являющийся важнейшей технологической характеристикой и выделены следующие типы руд: средне-тонковкрапленные (0,05-0,5 мм); средневкрапленные (0,1-0,5 мм) и крупновкрапленные (> 1 мм). Учитывая эти структурные особенности руд и взаимное прорастание рудных и безрудных минералов автором на примере пробы ТП-4, включающей касситерит, вольфрамит, арсениды и сульфиды был проведен эксперимент по выявлению максимального выхода тяжелых рудных минералов (тяжелая фракция) при гравитационном разделении 8 разных фракций руды, различающихся по крупности зерен в пределах от (-2+1) до (-0,040+0,0). Данные эксперимента приведены в таблице 4. Но к сожалению автор не проанализировал результаты своих экспериментов и не сделал выводов, как влияет размер зерен руды на оптимальное выделение тяжелой фракции при гравитационном разделении, хотя, судя по таблице 4, эта зависимость явно просматривается.

На основании проведенных исследований сформулировано первое защищаемое положение. *Руды месторождения изменчивы по своим технологическим свойствам – содержанию олова и крупности зёрен касситерита. По вкрапленности выделяются средне-тонковкрапленные (0,2-1,0 мм и менее 0,1 мм), средневкрапленные (0,2-1,0 мм) и крупновкрапленные (от 1 мм и более) руды. По содержанию олова – руды среднего качества (0,4-1,0 %) и богатые (более 1 %). Эти данные учтены при разработке технологии рудоподготовки обогащения и в настоящее время используются на производстве.*

### Глава 3 посвящена изучению последовательности образования рудных минералов и особенностей их состава

Принимая за основу модель формирования Правоурмийского месторождения, приведенную в книге [Геодинамика, магматизм и металлогения..., 2006], по которой продуктивная оловорудная минерализация связана с грейзеновым этапом и сформировалась в две стадии: касситерит-кварц-топазовую и кварц-турмалин-сульфидную, автор в этой главе главный упор сделала на изучении минерального состава этих стадий. Были изучены различные структурные особенности выделения минералов, их включения, характер взаимоотношений и последовательность выделения, а также химический состав.

В касситерит-кварц-топазовую стадию сформировались грейзены с кварц-топазовыми прожилками, содержащими касситерит, вольфрамит, арсенопирит и лёллингит. Исследования зёрен касситерита методами растровой электронной микроскопии показали наличие в нём включений топаза, флюорита, рутила, арсенопирита и лёллингита. Иногда в зёрнах касситерита наблюдаются участки замещения его станином. Отмечаются ксеноморфные зёрна касситерита в топазе. По данным сканирующей электронной микроскопии состав касситерита Правоурмийского месторождения близок к стехиометрическому. Изоморфно в него входят тантал, железо, а также характерны небольшие примеси Nb, Ti, Mn.

Кварц-турмалин-сульфидная стадия формирования месторождения интересна образованием медносульфидной минерализации, с которой ассоциируют сульфостаннаты железа и меди, индий, висмут, серебро, сурьма. Минералы меди представлены преимущественно халькопиритом и борнитом, сульфидные минералы олова - станнином ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ) и моусонитом ( $\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{Sn}_4\text{S}_8$ ), реже встречается станноидит ( $\text{Cu}_8(\text{Fe},\text{Zn})_3\text{Sn}_2\text{S}_{12}$ ). Все они генетически связаны с халькопиритом и борнитом. Моусонит определён при помощи растровой электронной микроскопии и чаще всего наблюдается в ассоциации с борнитом и станнином, реже с халькопиритом, образуя с ними сложные сростания. Сульфостаннаты железа и меди вместе с минералами меди занимают межзерновое пространство в грейзенах и образуют многочисленные прожилки. Сростания станнина и халькопирита имеют мирмекитовидные структуры в сочетании с решётчатыми и образовались очевидно в процессе распада твёрдого раствора. По данным автора состав этих минералов непостоянен и на диаграмме видно, что они формируют область составов с переменными содержаниями меди, железа и олова. С помощью растровой электронной микроскопии автором выявлено широкое разнообразие минералов, которые слагают тонкие выделения, образовавшихся в течении кварц-турмалин-сульфидной стадии формирования месторождения. Самородный висмут образует эмульсионную вкрапленность в борните и может иметь примесь серебра. Виттихенит ( $\text{Cu}_3\text{BiS}_3$ ) образуется на контакте зёрен самородного висмута и борнита. Индий в исследуемых образцах руды установлен как в виде примеси в станнине и в халькопирите, так и в виде собственной минеральной формы – рокезита ( $\text{CuInS}_2$ ). Серебро выявлено в качестве примеси в тетраэдрите и в скиннерите ( $\text{Cu}_3\text{SbS}_3$ ), установленном впервые в рудах данного месторождения.

С учётом полученных данных была дополнена и уточнена схема стадийности образования рудных минералов Правоурмийского месторождения, которая представлена в работе [Геодинамика, магматизм и металлогения..., 2006]. Выявленная богатая полиметалльная сульфидная минерализация в оловянных рудах Правоурмийского месторождения безусловно повышает их ценность. Современный подход к освоению месторождений предполагает комплексное извлечение всех ценных компонентов минерального сырья, что в свою очередь требует разработки сложных многостадийных схем обогащения и металлургического передела.

По результатам исследований приведенных в главе 3 сформулировано следующее защищаемое положение: *Химический состав сульфостаннатов железа и меди непостоянен. Формулы станнина часто отличаются от стехиометрических. Ag- и Sb-содержащие минеральные фазы, редкие минералы индия и висмута образуются совместно с халькопиритом, борнитом и станнином в процессе распада твёрдого раствора в кварц-турмалин-сульфидную стадию формирования месторождения. Их состав непостоянен и варьирует по содержаниям Cu, Sn, Ag, Fe, Bi и других элементов.*

К сожалению автором использованы и приведены в таблицах только данные рентгено-спектрального анализа минералов (микрозонд), который имеет малую чувствительность до 0,01% и не фиксирует низкие содержания важных элементов-примесей (Bi, Ag, In и Sb) в главных рудных минералах. Хотя известно, что для определения малых содержаний элементов и из малых навесок можно использовать нейтронно-активационный метод, который имеет чувствительность для многих редких элементов до 0,1ppm. Результаты же изучения растрового электронного микроскопа дают возможность определять лишь самостоятельные минеральные фазы этих редких элементов. Поэтому реальная картина распределения элементов-примесей в главных рудных минералах не выявлена и в защищаемом положении приведены расплывчатые формулировки, а не отражены конкретные данные по содержанию Bi, Ag, In и Sb в рудных сульфидах, которые существенно влияют на рентабельность отработки месторождения.

#### **Глава 4 посвящена изучению минералого-технологических свойств руды.**

Как показано диссертантом в главе 3, руда Правоурмийского месторождения имеет сложное строение и касситерит представлен выделениями неправильной формы как в виде свободных зёрен, так и в сростках различного качества, среди которых автор выделяет 4 типа: 1 - рудные и нерудные минеральные индивиды не образуют вкраплений друг в друге; 2 - рудные минералы образуют вкрапления внутри зёрен породообразующих минералов; 3 - рудный минерал образует вкрапления в других рудных минералах; 4 - в зёрнах рудных минералов имеются вкрапления породообразующих минералов. Наиболее благоприятен для обогащения первый тип, так как разрушение руды происходит по границам зёрен слагающих её минералов и происходит их обособление. Более сложным является второй тип вкрапленности, особенно когда вкрапления касситерита локализируются в топазе, который обладает высокой прочностью. Руда с вкрапленностью такого типа разрушается с образованием большого количества сростков, в том числе закрытого типа, дальнейшее измельчение которых приводит к ошламование зёрен касситерита. Кроме того, микроскопические исследования автора показали, что визуально наблюдаемые в образцах руды крупные выделения касситерита чаще всего являются агрегатами, состоящими из отдельных зёрен касситерита, часто в тонком срастании с другими минералами. В большинстве случаев зёрна касситерита в значительной степени катаклазированы, разбиты системами многочисленных трещин. За счет этого агрегаты и зёрна касситерита уже на первых стадиях измельчения руды могут перейти в крупность менее 0,1-0,3 мм. Хрупкость касситерита в сочетании с разномерностью структуры руды, сложенной срастаниями касситерита с породообразующими и рудными минералами, а также наличие в нём вкраплений разных минералов требует весьма осторожного и последовательного подхода к измельчению руды для вскрытия и отделения полезных компонентов. При таком сложном структурно-минералогическом строении руды для получения оловянных концентратов необходима по мнению автора многостадийная схема, включающая в себя отсадку, обогащение на винтовых сепараторах и концентрационных столах с последовательным выделением свободных зёрен касситерита и его сростков по мере их раскрытия. Доводка

черновых концентратов выполняется методами флотации (для удаления и селекции сульфидных минералов) и магнитной сепарации (для извлечения вольфрамита). Конечными продуктами доводочных операций являются селективные товарные концентраты: оловянный, вольфрамовый и медный.

С помощью детального минералогического анализа продуктов обогащения Т.А.Чикишевой установлены основные потери минералов олова в процессе обогащения руд. В результате минералогического изучения продуктов обогащения руды установлено, что в хвостах гравитационного обогащения потери касситерита наблюдаются в основном в крупности менее 0,04 мм, так как из-за хрупкости касситерита ошламование происходит на любой стадии дробления и измельчения и сильно увеличивается при переизмельчении, и при измельчении мелковкрапленных руд. Потери олова в сульфидных хвостах связаны в основном с сульфостаннатами железа и меди, реже со сростками касситерита. Извлечение сульфостаннатов железа и меди также потребует проведения операции доизмельчения и последующей селективной флотации сульфидов. В сульфидных хвостах, выделенных при флотации олово может теряться со сростками касситерита в арсенопирите, а также со сротками станнина с сульфидами меди – халькопиритом и борнитом. При этом из-за неравномерной вкрапленности минералов также рекомендуется применять многостадийные схемы измельчения и флотации.

По полученным данным сформулировано 3-ье защищаемое положение: *Руда является труднообогатимой по следующим минералогическим критериям: полиминеральный переменный состав, наличие нескольких форм нахождения ценного компонента (касситерит и сульфостаннаты железа и меди), сложный морфоструктурный состав руды, совместное присутствие касситерита, сульфидов и породообразующих минералов разной формы и размеров в тесной ассоциации друг с другом, низкая контрастность некоторых физических свойств минералов руды.*

В ходе проведения исследования Татьяной Александровной Чикишевой было выполнено комплексное минералогическое изучение, которое позволило оценить минералоготехнологические особенности руды Правоурмийского месторождения. Изучение контрастности физических свойств минералов руды, исследование сростков касситерита и определение их плотности позволило получить представление о минеральном составе продуктов первичного гравитационного обогащения, что дало технологам возможность разработать оптимальную схему доводочных операций. Полученные данные о минеральном составе и текстурно-структурных особенностях руд использованы при разработке технологии обогащения руды и включены в Технологический регламент для проектирования обогатительной фабрики на месторождении «Правоурмийское», в условиях которой планируется получать оловянный, вольфрамовый и медный концентраты.

Однако для оппонента осталась непонятным какова роль диссертанта и ее исследований в разработке этой новой схемы обогащения руд и в чем отличие этой схемы от уже существовавшей, которая была разработана «ЦНИИОлово» и фирмой «РАДОС» при испытании крупнообъемной пробы руды Правоурмийского месторождения.

В заключение необходимо отметить, что несмотря на сделанные замечания, рассматриваемая диссертационная работа представляет собой законченное исследование одного из интереснейших и сложных по составу оловянных объектов - Правоурмийского месторождения. Основные положения диссертации опубликованы в 4 рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, а также в 8 тезисах материалов совещаний. Защищаемые положения, в основном, хорошо обоснованы и подкреплены фактическим материалом.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. В целом, диссертационная работа Т.А.Чикишевой представляет собой цельный законченный труд и полностью отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – "Минералогия, кристаллография»

Доктор геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник  
29.04.2021



И.В.Гаськов

Гаськов Иван Васильевич, ведущий научный сотрудник лаборатории рудообразующих систем Федерального государственного бюджетного Учреждения науки Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук, д.г.-м.н. 630090 Новосибирск, проспект академика Коптюга,3 ИГМ СО РАН Тел: (383) 330-55-72; +7 913 758 0774

E-mail: gaskov@igm.nsc.ru

Я, Гаськов Иван Васильевич, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

**ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ**  
**ЗАВ. КАНЦЕЛЯРИЕЙ**  
**ЩИПОВА Е.Е.**  
29.04.2021г.