

УДК 549.550

https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-11-2-2

## О СОСТАВЕ КАССИТЕРИТА И ВОЛЬФРАМИТА В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

### В.И. Попова, В.А. Попов, И.А. Блинов

Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru Статья поступила в редакцию 00.00.2025 г., после доработки 09.12.2024 г., принята к печати 00.00.2025 г.

Аннотация. В статье приведены формулы, отражающие вариации состава касситерита, вольфрамита (ферберита и гюбнерита) и сопутствующих минералов (силикатов, фосфатов, танталониобатов, сульфидов и др.) из оловорудных месторождений Малого Хингана (Хинганское и Берёзовое), оловорудно-вольфрамовых месторождений Приамурья (Правоурмийское и Мерекское) и Приморья (Тигриное, Усть-Микулинское, Забытое, Шибановское) и олово-полиметаллического месторождения Зимнее. Во всех проанализированных кристаллах касситерита выявлены небольшие примеси Ті, Та, реже – W, Nb, In и Sc, а в кристаллах вольфрамита – иногда примеси Nb или Nb и Ta.

*Ключевые слова:* Малый Хинган, Приамурье, Приморье, оловорудные и олово-вольфрамовые месторождения, касситерит, вольфрамит, ферберит, гюбнерит, состав минералов.

*Финансирование*. Аналитические работы выполнены в рамках государственного задания ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (тема № 122040600006-1).

*Благодарности.* Авторы благодарны И.В. Кислюк и Н.П. Ивановой за подготовку препаратов для исследований.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с рукописью.

**Вклад авторов.** В.И. Попова – выбор объектов исследования, обработка иллюстраций, расчет формул минералов, написание рукописи и редактирование ее финального варианта; В.А. Попов – обсуждение текста, изготовление препаратов и участие в их исследовании; И.А. Блинов – аналитические работы.

Для цитирования: Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А. О составе касситерита и вольфрамита в рудах месторождений Дальнего Востока. Минералогия, 2025, **11**(2), 22–46. DOI: 10.35597/2313-545X-2025-11-2-2.

## ABOUT THE COMPOSITION OF CASSITERITE AND WOLFRAMITE IN ORES OF THE FAR EAST DEPOSITS

### V.I. Popova, V.A. Popov, I.A. Blinov

South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Chelyabinsk region, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru

Received 00.00.2025, revised 00.00.2025, accepted 00.00.2025

*Abstract.* The paper presents formulas, which reflect the variations in the composition of cassiterite, wolframite (ferberite and hübnerite) and associated minerals (silicates, phosphates, tantaloniobates, sulfides, etc.) from the Maly Khingan tin deposits (Khingan and Berezovoe), tin-tungsten deposits of the Amur Region (Pravy Urmiy and Merek), and Primorye (Tigrinoe, Ust–Mikulinskoe, Zabytoe, and Shibanovskoe) and, partly, Zimnee tin-polymetallic deposit. All studied cassiterite crystals contain a low amount of Ti and Ta, and less often W, Nb, In, and Sc, and wolframite locally contains Nb or Nb and Ta.

*Keywords:* Maly Khingan, Amur region, Primorye, tin and tin-tungsten deposits, cassiterite, wolframite, ferberite, hübnerite, compositional variations.

*Thanks:* The authors are grateful to I.V. Kislyuk and N.P. Ivanova for the preparation of samples for studies.

*Funding.* This work was supported by state contract of the South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS no. 122040600006-1.

*Conflict of interests.* The authors declare that there is no conflict of interest related to the manuscript. *Author contribution.* V.I. Popova – conceptualization, investigation, vizualization, writing – original draft, writing – review and editing; V.A. Popov – investigation, writing – original draft; I.A. Blinov – formal analysis.

*For citation:* Popova V.I., Popov V.A., Blinov I.A..About the composition of cassiterite and wolframitein ores of the far east deposits. Mineralogy, 2025, **11**(2), 22–46. DOI: 10.35597/2313-545X-2025-11-2-2

### ВВЕДЕНИЕ

На Дальнем Востоке России известно более 200 месторождений олова и вольфрама, но из них отрабатывали лишь перспективные и доступные. Наше ознакомление с месторождениями Хингана и Баджала началось в 1963–1965 гг. в процессе студенческих практик Свердловского горного института, а в 1970–1973 гг. и 1984–1987 гг. во время работы в Дальневосточном институте минерального сырья (ДВИМС, г. Хабаровск) с месторождениями Приморского края.

На Малом Хингане разведано пять оловорудных месторождений: Хинганское, Берёзовое, Олонойское, Карадубское и Джалиндинское (рис. 1). Геология и минеральный состав месторождений (без месторождения Берёзовое) обобщены в монографии «Оловорудные месторождения Малого Хингана» (Ициксон и др., 1959). Касситерит месторождения Хинганское промышленно добывался комбинатом «Хинганолово», а небольшие месторождения (Берёзовое, Олонойское, Карадубское и Джалиндинское) почти не отрабатывались изза бедных руд с преобладанием микрозернистого или колломорфного касситерита («деревянистого олова»). На востоке Хабаровского края в процессе поисковых работ 1974-1977 гг. выявлены Правоурмийское месторождение (в настоящее время отрабатывается) в юго-западных отрогах Баджальского хребта, а также крупная россыпь касситерита по р. Мерек (рис. 2).

В Приморском крае на западном склоне хребта Сихотэ-Алинь в Арминском рудном районе известно 34 месторождения олова и вольфрама, а также около 200 рудопроявлений и ряд россыпей, открытых в XX в. Наиболее продуктивны месторождения Тигриное, Забытое и Усть-Микулинское, а менее богатые – Зимнее (рис. 3) и Шибановское (рис. 4). В процессе разведки и отработки перечисленных месторождений главной целью являлись количество и качество руды, а состав минералов был охарактеризован, в основном, по результатам «валовых» химических и спектральных анализов.

Ранее нами на оловорудных месторождениях Приамурья и Приморья была собрана рабочая коллекция образцов руд, исследованных только частично. Наибольший интерес вызывали не только редкие и впервые встреченные минералы во вмещающих породах и рудах, но и рудные минералы - касситерит и вольфрамит. Во второй половине ХХ в. на всех перечисленных месторождениях минералы были изучены преимущественно в монофракциях методами мокрой химии и приближенно-количественного спектрального анализа. Получение чистых мономинеральных фракций практически невозможно, поэтому доверительность результатам анализов была невысокой. Возникала неопределенность в их использовании для расчетов изоморфной емкости минералов или для типоморфического моделирования. Для разработки улучшенной технологии минерального сырья желательно доизучение анатомической картины индивидов касситерита, вольфрамита и других минералов. В 2024-2025 гг. нами изучен состав касситерита и минералов группы вольфрамита, включений в них сингенетичных или поздних минералов из месторождений Приамурья и Приморья.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из нашей коллекции для исследования использованы 28 препаратов из 15 образцов с касситеритом и вольфрамитом из руд месторождений Хинганское (3 образца), Мерекское (6), Правоурмийское (1), Тигриное (1), Забытое (1) и Шибановское (3). Относительно крупные кристаллы воль-



*Рис.* 1. Местонахождение оловорудных месторождений на Малом Хингане.

1 – кварцевые порфиры и порфириты; 2 – гранитпорфиры; 3 – серицит-кварцевые породы; 4 – оловорудные месторождения.

Fig. 1. Position of tin deposits within Maly Khingan.

1 – quartz porphyry and porphyrite; 2 – granite porphyry; 3 – sericite-quartz rocks; 4 – tin deposits



Рис. 3. Локализация оловорудных месторождений Приморья в осадочных породах (К1) с интрузиями гранит-порфиров Излучинского массива (γ1) и гранитоидов Приискового массива (γ2) в восточной зоне Центрального Сихотэ-Алиньского разлома, отделяющего блок вулканогенно-осадочных пород (Р<sub>1-2</sub>).

*Fig. 3.* Localization of tin deposits in Primorye in sedimentary rocks (K1) with intrusions of granite porphyry of the Izluchinsky pluton ( $\gamma$ 1) and granitoids of the Priiskovy pluton ( $\gamma$ 2) in the eastern zone of the Central Sikhote-Alin Fault, which devides a block of volcanosedimentary rocks (P<sub>1-2</sub>).



*Рис.* 2. Положение Правоурмийского и Мерекского оловорудных месторождений в субщелочных гранитах Баджальского и Дуссе-Алиньского рудных районах.

*Fig. 2.* Localization of Pravy Urmiy and Merek tin deposits in subalkali granites of the Badzhal and Dusse-Alin ore regions.



Рис. 4. Местонахождение Шибановского месторождения с Sn-W россыпями в пойме руч. Шибановского среди гранитов ( $\gamma P_2$ ) с пегматитами ( $\gamma Pg$ ) и щелочных сиенитов (P) на юге Приморья, с упрощением по (Степнова, 2013).

*Fig. 4.* Location of the Shibanovskoe deposit with Sn-W placers in the floodplain of the Shibanovsky Creek in granite  $(\gamma P_2)$  with pegmatite  $(\gamma Pg)$  and alkali syenite (P) in South Primorye, simplified after (Stepnova, 2013).

фрамита отобраны из Мерекской россыпи и месторождения Забытое.

Кристаллы касситерита и вольфрамита распилены параллельно или перпендикулярно оси [001], из них пять крупных – на две части. Химический состав минералов и включений в них исследован в Южно-Уральском федеральном научном центре минералогии и геоэкологии УрО РАН (г. Миасс) с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Vega-3 Tescan с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) Oxford Instruments Х-асt (аналитик И.А. Блинов). Параметры анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, время набора спектра 120 с, мертвое время 10-15 %, ток эмиссии 75 мкА, набор и расчет спектров проводился с помощью программы Inca 5.02. При анализе использовались следующие стандарты для сульфидов: S (К линия) – пирит, сфалерит и арсенопирит для соответствующих минералов, Fe (К линия) – пирит для пирита и сфалерита, арсенопирит для арсенопирита и леллингита, халькопирит для халькопирита и станнина, Mn (К линия) – металлический марганец, Zn (К линия) – сфалерит, As (К линия) – арсенопирит, Cd (L линия) – металлический кадмий, Cu К линия) халькопирит, Sn (L линия) – металлическое олово, Bi (L линия) – металлический висмут, Pb (L линия) – галенит, Sb (L линия) – стибнит, In (L линия) – металлический индий; для флюорита – F, Са (Клиния) – флюорит, Ү (Lлиния) – ксенотим, Sr (L линия) – SrF<sub>2</sub>; для оксидов: Sn (L линия) – металлическое олово, Fe (Клиния) – гематит, Mn (Клиния) - металлический марганец, W, Nb, Ta, Sc (L линия) соответствующие металлы, Ті (Клиния) – рутил.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

# Касситерит и вольфрамит оловорудных месторождений Приамурья

Хинганское оловорудное месторождение расположено вблизи пос. Хинганск, в 20 км к ССВ от железнодорожной станции Облучье (рис. 1). В результате поисковых работ 1943–1947 гг. оконтурены перспективные касситеритсодержащие площади (Ициксон и др., 1959). Хинганское месторождение выявлено по результатам шлихового опробования в 1944 г. В геологическом отношении месторождение находится в Хингано-Олонойском прогибе в северной части Малого Хингана и локализовано в крупных телах «взрывных» брекчий гранит-порфиров, включающих многочисленные рудные жилы и прожилки; предполагалась тектоническая природа брекчий (Ициксон и др., 1959). Позднее шахтным геологом Е.Я. Синяковым (1975) также отмечалось, что эти брекчии тектонические – без признаков импактного метаморфизма, обычного при взрыве. Рудные тела месторождения – субвертикальные трубообразные штокверки протяженностью до 10–420 м и более в гранит-порфирах и риолитах. Геологами комбината «Хинганолово» выявлена многоэтажность месторождения на глубину более 800 м (Попова, Синяков, 1978). В 2006 г. добыча руды была прекращена. Гигантские оловорудные отвалы Хинганского месторождения с 2014 г. отрабатывались международной компанией ООО «Ресурсы Малого Хингана».

Касситерит в рудных прожилках составлял 10-23 % объема и ассоциировал с флюоритом, кварцем, железистым хлоритом, калиевым полевым шпатом (адуляром) и мусковитом при содержании сульфидов 2-3 %, включая станнин (Попова, Синяков, 1978). В зальбандах рудных прожилков секториальные кристаллы касситерита размером до 1-3 мм образуют сростки двойников, тройников и шестерников до 2-4 мм с вариациями желтовато-коричневатого и оранжево-коричневого цвета. Касситерит содержал включения сопутствующих минералов (Ициксон и др., 1959). Спектральным анализом в касситерите отмечались примеси Fe и W (до 1-3 мас. %) и In (Ициксон и др., 1959); средний состав касситерита близок формуле (Sn<sub>0.98</sub>Fe<sub>0.01</sub>) О2. Нами исследованы образцы из полиминеральных прожилков штольни № 7 в штреке 17 на глубине 77 м и в штреке № 25 – на глубинах 209 м и 240 м от устья штольни.

Образец № 7-17-77 (рис. 5) представлен агрегатом кварца с железистым гюбнеритом (Mn<sub>0.57</sub>Fe<sub>0.43</sub>)<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) (е, і: здесь и далее латинские буквы обозначают точки анализов на соответствующих рисунках), топазом Al<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)F<sub>2</sub> (j), муско- $(K_{0.89}Mg_{0.11})_{1.00}(Al_{1.43}Mg_{0.36}Fe_{0.28}Mn_{0.04}Ti_{0.01})_{2.12}$ витом ((Si<sub>3.40</sub>Al<sub>0.60</sub>)<sub>4.00</sub>O<sub>10</sub>)[(OH)<sub>1.17</sub>F<sub>0.83</sub>]<sub>2.00</sub> (n), фторапатитом Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F<sub>1.02</sub> (f), рутилом (Ti<sub>0.96</sub>Ta<sub>0.02</sub>W<sub>0.01</sub>Fe<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (o), цирконом  $Zr(SiO_4)$  (m), монацитом (Ce<sub>0.38</sub> флюо- $La_{0.21}Ca_{0.12}Th_{0.12}Nd_{0.10}Pr_{0.04}U_{0.01})_{0.98}O_4$ (q),ритом CaF<sub>2</sub> (r), галенитом PbS (u), герсдорфитом Ni(AsS) (v), сфалеритом (Zn<sub>0.88</sub>Fe<sub>0.11</sub>Mn<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub> S (d), (Zn<sub>0.94</sub>Fe<sub>0.06</sub>Mn<sub>0.01</sub>Cd<sub>0.01</sub>)<sub>1.02</sub>S (h, i), лёллингитом  $Fe(As_{1.92}S_{0.08})_{2.00}$  (a), арсенопиритом  $Fe_{1.02}As_{1.02}S_{1.00}$ (b) и  $Fe_{1.00}As_{1.02}S_{0.98}$  (l), станнином  $Cu_{1.95}(Fe_{0.81})$ Zn<sub>0.22</sub>)<sub>1.03</sub>Sn<sub>1.04</sub>S<sub>4</sub> (g), самородным висмутом (c) и редкими микрозернами касситерита.

Попова В.И., Попов В.А., Блинов И.А. Ророva V.I., Ророv V.A., Blinov I.A.



Рис. 5. Парагенезисы минералов в кварцевых жилах.

Обр. № 7-17-77 (а) и участки анализа минералов (б-з) из Хинганского месторождения. Здесь и на рис. 6, 7, 11в, 12–24, 27–30, BSE фото.

Fig. 5. Mineral assemblages in quartz veins.

Sample no. 7-17-77 (a) and analytical areas (6–3) from the Khingan deposit. Here and in Figs. 6, 7, 11B, 12–24, and 27–30, BSE image.



*Puc. 6.* Касситерит из штольни № 7 Хинганского месторождения (а) и детали его проанализированных участков (б, в). *Fig. 6.* Cassiterite from adit no. 7 of the Khingan deposit (a) and details of its analyzed areas (б, в).



*Рис.* 7. Кристаллы касситерита в сечении перпендикулярно оси [001] (а) и детали его участков (б, в) из штольни № 7 Хинганского месторождения.

*Fig.* 7. Cassiterite crystal in section perpendicular to [001] axis (a) and details of its areas ( $\delta$ , B) from adit no. 7 of the Khingan deposit.

Касситерит из штольни № 7 (рис. 6) содержит в составе (мас. %):  $SnO_2$  96.39–98.05;  $Ta_2O_5$  0.58–0.88;  $TiO_2$  0.59–0.73;  $Nb_2O_5$  0–0.54;  $WO_3$  0.24–0.44; FeO 0.00–0.31;  $\Sigma$  99.23–99.56. Расчетные формулы состава касситерита:  $(Sn_{0.98}Ti_{0.01}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$  (a),  $(Sn_{0.97}Ti_{0.01}Ta_{0.01})_{0.99}O_2$  (b) и  $(Sn_{0.99}Ti_{0.01})_{1.00}O_2$  (c). В агрегате присутствует топаз  $Al_{2.09}(SiO_4)[F_{1.49}(OH)_{0.51}]_{2.00}$  (d) и  $Al_{2.05}(SiO_4)$  $[F_{1.52}(OH)_{0.48}]_{2.00}$  (f). В топазе выявлены включения железистого гюбнерита  $(Mn_{0.60}Fe_{0.40})_{1.00}(WO_4)$ (g), сфалерита  $(Zn_{0.92}Fe_{0.07})_{0.99}S$  (h) и триплита  $(Mn_{1.51}Fe_{0.30}Mg_{0.13})_{1.94}(PO_4)[F_{0.84}(OH)_{0.16}]_{1.00}$  (e).

Касситерит из штрека № 25 (рис. 7) с примесями Та, Ті, Nb и W характеризуется следующими формулами: Sn<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (a, b), (Sn<sub>0.99</sub>Ta<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (c, f), (Sn<sub>0.96</sub>Ti<sub>0.03</sub>Ta<sub>0.01</sub>Nb<sub>0.01</sub>)<sub>1.01</sub>O<sub>2</sub>(d) и (Sn<sub>0.97</sub>Ti<sub>0.02</sub>Fe<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (h). С касситеритом ассоциирует железистый мусковит (K<sub>0.92</sub>Mg<sub>0.08</sub>)<sub>1.00</sub>(Al<sub>1.54</sub>Fe<sub>0.36</sub>Mn<sub>0.07</sub>Mg<sub>0.03</sub>)<sub>2.00</sub> ((Si<sub>3.26</sub> Al<sub>0.74</sub>)<sub>4.00</sub> O<sub>10</sub>)[(OH)<sub>1.53</sub>F<sub>0.47</sub>]<sub>2.00</sub> (е) и колумбит-Mn (Mn<sub>0.65</sub>Fe<sub>0.35</sub>)<sub>1.00</sub>(Nb<sub>1.28</sub>Ta<sub>0.28</sub>W<sub>0.23</sub>Ti<sub>0.20</sub>)<sub>1.99</sub>O<sub>6</sub> (g).

Вольфрамит темно-коричневого и черного цвета встречался в прожилках в парагенезисе с касситеритом, железистым хлоритом, кварцем и сульфидами в виде веерообразных агрегатов таблитчатых кристаллов до 1–2 см, содержащих ~10 мас. % Fe, менее 1 % Мn, малые примеси Sn, Pb и микровключения шеелита (Ициксон и др., 1959). Позднее встречен ферберит с расчетной формулой (Fe<sub>0.90</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.05</sub>Mn<sub>0.04</sub>)<sub>0.99</sub>(WO<sub>4</sub>) и микропримесями Ti, Mg, Ca и Sc. В касситерите нами выявлено сингенетичное микровключение железистого гюбнерита (Mn<sub>0.61</sub>Fe<sub>0.34</sub>)<sub>0.95</sub>(WO<sub>4</sub>) (g) (рис. 7в).

*Берёзовое оловорудное месторождение* открыто в 1961 г. близ станции Облучье ДВЖД,

в 10 км юго-западнее месторождения Хинганское (рис. 1). Месторождение содержит линзовидные тела касситеритсодержащих метасоматитов СЗ и ССВ простирания в зонах слабо окварцованных, серицитизированных и хлоритизированных риолитов и гранит-порфиров (К<sub>2</sub>). К протяженной субмеридиональной зоне Обещающая (~1500 м) с СВ на ЮЗ примыкают зоны Малютка, Средняя, Бархатная, Третья и Четвёртая (длиной до 100–400 м). В этих зонах выявлены касситерит-кварцевые и касситерит-топаз-кварцевые рудные тела длиной до 200–250 м мощностью 0.5–4.0 м, прослеженные на глубину более 600 м. В 2019 г. компанией «Ресурсы Малого Хингана» получена лицензия на разработку месторождения.

В 1970–1972 гг. в рудных зонах частично исследована минералогия руд и околорудных метасоматитов (Попова, 1980) и выявлены касситериткварцевые прожилки выполнения полостей трещин (рис. 8a) с обрастанием касситерита двойниками флюоцерита-(Ce) (Ce<sub>0.44</sub>La<sub>0.21</sub>Nd<sub>0.20</sub>Pr<sub>0.05</sub>Y<sub>0.04</sub>Sm<sub>0.03</sub> Gd<sub>0.02</sub>Dy<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>F<sub>3</sub> до 0.5 мм (Попова, Баженова, 1976), пересекаемые поздними сульфидно-кварцевыми жилками.

Касситерит в кварцевых метасоматитах зоны Обещающая распределен неравномерно; размер зерен и комплексных двойников варьирует от 0.001–0.200 мм до 1 мм. Монокристаллы касситерита редки, их облик варьирует от субизометричного до короткопризматического и призматического с преобладанием комплексных двойников и зональных сферолитов (рис. 8). Прожилки выполнения полостей, содержащие касситерит, наиболее часто встречались в участках максимального оруденения,



*Рис.* 8. Агрегаты касситерита (а, б), комплексный сросток касситерита (в) и зональный сферолит «деревянистого» касситерита (г) из месторождения Берёзовое.

*Fig.* 8. Cassiterite aggregates (a,  $\delta$ ), complex cassiterite intergrowth (b), and zoned spherulite of "woody" cassiterite (r) from the Berezovoe deposit.

где в пробе по керну скважин среднее содержание касситерита составляло ~1.45 %, кварца ~80 %, мусковита ~15 %, топаза ~1.43 %, флюорита ~0.8 %. Прочие минералы включают арсенопирит, борнит, галенит, пирит, сфалерит, халькозин, халькопирит, хлорит, адуляр, вольфрамит, кальцит, каолинит, лимонит, монацит, пирротин, станнин, скородит, турмалин, циркон.

По результатам выполненного ранее фазового анализа проб из руд месторождения около ~90 % олова находится в кристаллическом касситерите, ~9 % – в станнине и ~1 % – в «коллоидном олове» в участках с «деревянистым» касситеритом. Вариации химического состава касситерита составили (мас. %): Sn 74-76, Fe 0.4-0.6, W 0.01-0.20 (аналитики И.К. Клочков и В.Ю. Гурьянов) с рассчитанной нами формулой среднего состава касситерита (Sn<sub>0.98</sub>Fe<sub>0.01</sub>)<sub>0,99</sub>O<sub>2</sub>. Спектральным анализом в порошковых пробах выявлены примеси Nb 0.001-0.020, In 0.002–0.06 и Sc 0.002–0.01 мас. % (аналитик А.И. Пермина). Ферберит в рудных телах Берёзового месторождения редкий и мелкий (~0.01 мм), по составу (Fe<sub>0.91</sub>Mn<sub>0.09</sub>)<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) близок вольфрамиту месторождения Хинганское.

Карадубское оловорудное месторождение выявлено в 1952 г. Н.Н. Никулиным при геологической съемке в 10 км южнее пос. Кульдур, в 20 км севернее Олонойского месторождения (рис. 1).

На месторождении выявлены сближенные рудные участки Верхний, Нижний, Обещающий, Каменистый, Холодный и Лесной в кварцевых порфирах (К<sub>1-2</sub>) (Ициксон и др., 1959) с дайками плагиоклазовых и диабазовых порфиритов и интрузиями гранит-порфиров. Месторождение разведано скважинами колонкового бурения и штольнями на трех горизонтах. Участки Нижний и Каменистый были перспективнее, чем участок Обещающий. Позднее эти участки рассматривались как рудопроявления Карадубского рудного поля СЗ простирания на площади ~15 км<sup>2</sup>. Содержания касситерита (до 0.08 мас. %) отмечались в каолинит-топаз-кварцевых породах (Крюков и др., 1988). Главные минералы руд – касситерит, кварц, мусковит (серицит), топаз, турмалин; менее распространены флюорит, каолинит, редкий вольфрамит и сульфиды (с преобладанием арсенопирита). В 2013 г. месторождение было куплено ООО «Эко-Тех-Эм» (интернет-данные).

Касситерит в рудах месторождения мелкокристаллический, коричневый и темно-коричневый, часто в агрегатах с сопутствующими силикатами. Состав образца № 40 темно-коричневого касситерита (мас. %): SnO<sub>2</sub> 96.55; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.40; FeO 0.11; TiO<sub>2</sub> 0.09; MnO 0.01; WO<sub>3</sub> 0.18; Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.01; SiO<sub>2</sub> 1.80; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.16, ZrO 0.06, CaO 0.05, MgO 0.05,  $\Sigma = 99.53$ . Рассчитанная нами формула за вычетом компонентов силикатов и оксидов Zr, Ca и Mg (Sn<sub>0.97</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.03</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub>.

28

O составе касситерита и вольфрамита в рудах месторождений Дальнего Востока About the composition of cassiterite and wolframitein ores of the far east deposits.



*Рис. 9.* Сечения «деревянистого» касситерита (а, фото) и их нейтронно-активационная радиография (б), Джалиндинское месторождение.

Fig. 9. Cross-sections "woody" cassiterite (a) and their neutron activation radiography (6), Dzhalinda deposit.

*Вольфрамит* в рудах редкий и мелкий, железосодержащий, по спектрограмме близок фербериту.

Джалиндинское месторождение «деревянистого» касситерита (рис. 1) выявлено в 12 км севернее Карадубского месторождения в 1952 г. П.Н. Кошманом в процессе съемочно-поисковых работ и разведано в 1952-1954 гг. П.Н. Кошманом с В.А. Кузьмичёвым и Р.П. Феклович (Ициксон и др., 1959). Месторождение локализовано в кварцевых порфирах и включает три основных участка: Центральный (собственно Джалиндинское месторождение), участок Восточный и аллювиальную россыпь ключей Богатый и Маристый. Участки в форме линз и «гнезд» размером до 30 см обогащены «деревянистым» касситеритом и тонкодисперсной его разновидностью (как на месторождении Берёзовое). В элювиально-делювиальной россыпи северной части Центрального участка руда с содержанием «деревянистого» касситерита более 100 г на 1 м<sup>3</sup> прослежена на глубину до 20–30 м.

Касситерит «деревянистый» в кварцевых метасоматитах образует жилообразные концентрически-зональные скопления (рис. 9а) с вариацией коричневых, светло-коричневых и почти белых зон, контрастно различающихся на радиографии (рис. 9б) после облучения потоком тепловых нейтронов. Были встречены тонкодисперсные порошковатые скопления касситерита, облекающие более ранние концентрически-зональные «овоиды» до 2–5 мм. Состав «овоидов» неоднородный с содержанием SnO<sub>2</sub> 94–96 мас. % и вариациями примесей компонентов вмещающих силикатов.

Правоурмийское W-Sn месторождение открыто в 1974–1975 гг. в Верхнебуреинском районе Хабаровского края, в 117 км от ж-д. станции Сулук (БАМ) в Баджальском рудном районе восточной части Верхнеурмийского рудного узла (рис. 2). Рудные тела локализованы в висячем контакте дайки гранит-порфиров (Богданов и др., 1979; Банщикова, Крюкова, 1988). Месторождение отрабатывается с 1990 г. и включает касситерит-топаз-кварцевые и касситерит-сидерофиллит-кварц-топазовые грейзены с вольфрамитом по риолитовым игнимбритам в экзоконтактной зоне Верхнеурмийского гранитного массива (К<sub>1-2</sub>) (Погребс, 1993). Месторождение с 1990 г. отрабатывали артель «Амгунь», в 1995–1998 гг. – АО «Горнорудная компания», ООО «Востоколово» и по настоящее время – ООО «Правоурмийское».

В формировании месторождения выделены два этапа (Семеняк и др., 2006): 1 – молибденитполевошпат-кварцевый с шеелитом, сидерофиллитом, топазом, флюоритом и малыми количествами вольфрамита и касситерита; 2 – грейзеновый этап, включавший стадии касситерит-полевошпат-кварцевую с вольфрамитом, кварц-турмалинсульфидную, эпидот-хлоритовую с мусковитом, турмалином, карбонатами, сульфидами, а также позднюю карбонатно-кварцевую. Отдельно был выделен кварц-антимонитовый «этап» с малыми количествами тетраэдрита, хлорита, эпидота, мусковита, карбоната и флюорита. Кварц-топазовые прожилки с касситеритом, вольфрамитом и лёллингитом преимущественно локализованы в породах сидерофиллит-кварц-топазовой стадии. С касситеритом установлены сингенетичные фергусонит-(Ү), эвксенит-(Ү), плюмбопирохлор и хедлейит (Алексеев и др., 2019).



*Рис. 10.* Кристаллы касситерита из Мерекской россыпи (а, фото) и зарисовка кристалла № 1-85 (б) и его зональносекториальных сечений (в–д).

*Fig. 10.* Cassiterite crystals from the Merek placer (a, photo) and a sketch of crystal no. 1-85 (6) and its zoned-sectoral sections (B-д).

Касситерит из жил и прожилков короткопризматический размером 0.2–16.0 мм, часто в виде комплексных двойников. Средние содержания элементов в касситерите по 134 пробам составили (мас. %): W 0.057; Nb 0.028; In 0.006; Sc 0.0027 (Погребс, 1993), что отвечает расчетной формуле  $(Sn_{0.93}Nb_{0.04}W_{0.04})_{1.00}O_2$ .

Вольфрамит в прожилках относительно ранний, нередко рассекается касситерит-топазовым агрегатом. Были встречены жилы мощностью до 10–40 см с крупнокристаллическим вольфрамитом с составом (среднее для пяти проб, мас. %): MnWO<sub>4</sub> 36.0; Sn 0.095; Nb 0.086; Sc 0.017; Y 0.014 (Погребс, 1993), что при расчетном FeWO<sub>4</sub> ~63.79 мас. % отвечает фербериту (Fe<sub>0.64</sub>Mn<sub>0.36</sub>)<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>).

Мерекское месторождение представляет собой W-Sn россыпь на р. Мерек (левый приток р. Амгунь). Было выявлено в 1974 г. на стыке Буреинского и Дуссе-Алиньского хребтов, в 120 км на 3-С3 от Комсомольска-на Амуре и в 80 км западнее оз. Эворон (рис. 2). Россыпь образована продуктами деструкции вольфрамит-касситерит-кварцевых жил в гранитоидах и метаосадочных породах K<sub>1-2</sub>. Россыпь была отработана в 1975–1978 гг. артелями старателей.

Касситерит из Мерекской россыпи преимущественно крупный (до 5–7 см), короткопризматический ( $c/a \sim 1.25$ ), с гранями форм  $m\{110\}, a\{100\}, s\{111\}, e\{101\}$  (рис. 10а, б; кристалл № 1-85 из коллекции В.М. Коропа). В разных сечениях кристаллов и сростков касситерита отчетливо проявлена зонально-секториальная неоднородность (Попова, Тимошин, 1987). Темно-коричневые зоны характерны для «центральных» зон пирамид роста *m*, *s*, менее темные – для средних и периферических зон, а наиболее светлые – для периферических зон призмы *m* (рис. 106–д).

Ранее по данным спектрального анализа разных зон касситерита отмечалось, что темные зоны содержат почти в 10 раз больше микропримесей (среднее из восьми анализов, мас. %): Ті 0.30; Та 0.00-0.05; Zr 0.05; W 0.00-0.03; Fe 0.01; Nb 0.003; In 0.0005; Sc 0.0005 (Косовец, Ставров, 1983), что при расчетном содержании Sn ~99.606 мас. % отвечает формуле (Sn<sub>0.93</sub>W<sub>0.04</sub>Nb<sub>0.04</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub>. Последовательные нейтронографии сечения препарата касситерита через 1.5 часа (рис. 10а) и через 9.5 часов (рис. 11б) после облучения в реакторе потоком тепловых нейтронов отличаются картинами секториальности и количеством зон. В этом препарате определены соотношения изотопов разных участков касситерита (относительно «стандарта»  $^{120}$ Sn/ $^{122}$ Sn = 6.96): в дипирамиде *s*{111} соотношение <sup>120</sup>Sn/<sup>122</sup>Sn ~4.5, в призмах *m*{110} и *a*{100} ~6 (Попова, Тимошин, 1987). «Головка» кристалла касситерита содержит примеси Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.52-0.83 мас. %, реже – WO<sub>3</sub> 0.42–0.52 мас. %. Зоны дипирамиды *s*{111} и призмы *m*{110} (рис. 11в) близки по соста-

O составе касситерита и вольфрамита в рудах месторождений Дальнего Востока About the composition of cassiterite and wolframitein ores of the far east deposits.



*Рис. 11.* Последовательная нейтронография зонально-секториального касситерита № 1-85 (а, б) и участка анализа (в) кристалла из Мерекской россыпи.

*Fig. 11.* Sequential neutronography of zoned-sectoral cassiterite no. 1-85 (a, b) and analytical area (b) of the crystal from the Merek placer.



ву с формулами:  $Sn_{1.00}O_2$  (a, b, d),  $(Sn_{1.00}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  (c, e, f, g, h) и  $Sn_{0.99}O_2$  (i), отличаясь от картины нейтронографии. В касситерите выявлены включения железистого мусковита  $(K_{0.82}Na_{0.05}Mg_{0.03})_{0.95}(Al_{1.83}Fe_{0.26}Mn_{0.03}Ti_{0.01})_{2.13}((Si_{3.15}Al_{0.85})_{4.00}O_{10})((OH)_{1.80}F_{0.20})_{2.00}$  (j) размером до 0.02–0.80 мм.

Касситерит № 91/86 в сечении  $\bot$ [001] (рис. 12а) с примесями Ті, Та и W характеризуется следующими формулами: а – Sn<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub>, b – (Sn<sub>0.98</sub>W<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub>, с – (Sn<sub>0.99</sub>Ti<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub>, d – (Sn<sub>0.99</sub>W<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub>. В трещинах касситерит содержит микровключения ильменита (Fe<sub>0.85</sub>Mn<sub>0.13</sub>)<sub>0.98</sub>Ti<sub>1.02</sub>O<sub>3</sub> (e), рутила (Ti<sub>0.96</sub>Fe<sub>0.02</sub>W<sub>0.02</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (f) и гётита (g) (рис. 116).

Касситерит № 91/86а (рис. 13) характеризуется формулами  $(Sn_{0.99}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$  (d) и  $(Sn_{0.98}Fe_{0.02})_{1.00}O_2$ (g) и содержит включения мусковита переменного состава  $(K_{0.94}Na_{0.03})_{0.97}(Al_{1.67}Fe_{0.27}Mg_{0.04}Mn_{0.03}Ti_{0.01})_{2.02}$  $((Si_{3.17}Al_{0.83})_{4.00}O_{10})((OH)_{1.68}F_{0.32})_{2.00}$  (a) и  $(K_{0.92}Na_{0.06})_{0.98}$  $(Al_{1.46}Fe_{0.51}Mn_{0.03})_{2.00}((Si_{3}Al)_4O_{10})(OH)_2$  (c). Трещины в касситерите нередко заполнены агрегатом лимонита с глиной и хлоритом (e, f) с реликтами кварца и силикатов (рис. 13б). Рис. 12. Поперечное сечение кристалла касситерита № 91/86 из Мерекской россыпи (а) с включениями ильменита (Ilm, е) и рутила (f) (б). *Fig. 12.* Cross-section of the cassiterite crystal no.

91/86 from the Merek placer (a) with inclusions of ilmenite (Ilm, e) and rutile (f) ( $\delta$ ).

Касситерит № 92/86 в сечении ^[001] призматического кристалла (рис. 14) содержит небольшие примеси Та, W и характеризуется близким составом:  $Sn_{0.99}O_2$  (a, b) и  $(Sn_{0.99}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$  (c).

Касситерит № 93/86а (рис. 15) представляет собой часть крупного деформированного кристалла в сечении  $\bot[001]$  с серией поздних трещин с рутилом ( $Ti_{0.97}Fe_{0.03}$ )<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (g) и лимонитом (j) с кварцем. Состав касситерита характеризуется формулами в участках: ( $Sn_{0.99}Ta_{0.01}$ )<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (a, b, c, e),  $Sn_{1.00}O_2$  (d) и ( $Sn_{0.98}Ti_{0.01}Ta_{0.01}$ )<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (f), где точки a, b, с дипирамиды *s*{111} немного однороднее точек d, e, f призмы m{110}.

Касситерит № 93/866 – вторая часть этого кристалла в сечении  $\perp$ [001] с вариациями состава (мас. %): SnO<sub>2</sub> 99.07–100.22; Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.47–0.84; WO<sub>3</sub> 0.00–0.45; TiO<sub>2</sub> 0.00–0.24;  $\Sigma$  99.98–100.73. Состав касситерита «центральной» части (рис. 16а) характеризуется формулой Sn<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub>(g), в «средних» участках – (Sn<sub>0.99</sub>Ta<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (f, h), а относительно поздний Ті-содержащий участок – (Sn<sub>0.99</sub>Ta<sub>0.01</sub>Ti<sub>0.01</sub>)<sub>1.01</sub>O<sub>2</sub> (e). Периферические зоны в точках a, b, c, d близки по



*Рис. 13.* Касситерит (d, g) с включениями мусковита (a, b, c) с баритом (Brt) и Fe-хлоритом в обр. № 91/86а из Мерекской россыпи.

*Fig. 13.* Cassiterite (d, g) with inclusions of muscovite (a, b, c) with barite (Brt) and Fe-chlorite in sample no. 91/86a from the Merek placer.

*Рис. 14.* Сечение ⊥ [001] касситерита № 92/86 из Мерекской россыпи.

*Fig. 14.* Cross-section  $\perp$ [001] of cassiterite no. 92/86 in the Merek placer.





составу. Касситерит точек m, n (рис. 16б) содержит Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.60–0.62 мас. %; секущие трещины заполнены поздним монтмориллонитом (k) с лимонитом (l) и микровключениями обломков касситерита.

02

• b

Касситерит № 94/86-1 (рис. 17а) представляет собой часть кристалла в сечении ⊥[001] с

примесью  $Ta_2O_5 \ 0.54-0.64$  мас. % и характеризуется формулами  $(Sn_{1.00}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  (а) и  $Sn_{0.99}O_2$  (b, c). Трещины в касситерите заполнены агрегатом хлорита (d) с глиной и микровключением рутила  $(Ti_{0.72}V_{0.02}Fe_{0.02}Sn_{0.01})_{0.77}O_2$  (e) (рис. 17б). О составе касситерита и вольфрамита в рудах месторождений Дальнего Востока About the composition of cassiterite and wolframitein ores of the far east deposits.

*Рис. 16.* Кристалл касситерита № 93/86б из Мерекской россыпи перпендикулярно оси [001] с точками анализа.

*Fig. 16.* Cassiterite crystal no. 93/86b from the Merek placer perpendicular to [001] axis with analysis points.



*Рис. 17.* Образец касситерита № 94/86-1 из Мерекской россыпи (а) с прожилками шамозита с рутилом (б) и мусковита с прожилком скородита (в).

*Fig.* 17. Cassiterite sample no. 94/86-1 from the Merek placer (a) with chamosite veinlets with rutile (6) and muscovite with skorodite veinlet (B).



*Рис. 18.* Образец касситерита № 94/86 из Мерекской россыпи с участками анализов. *Fig. 18.* Cassiterite sample no. 94/86 from the Merek placer with analytical areas.

В периферической зоне касситерита (рис. 17в) с кварцем (Qu) и мусковитом ( $K_{0.90}Mg_{0.06}Na_{0.04}$ )<sub>1.00</sub>(Al<sub>1.70</sub> Fe<sub>0.15</sub>Mg<sub>0.12</sub>Mn<sub>0.02</sub>Ti<sub>0.01</sub>)<sub>2.00</sub>(Si<sub>3.2</sub>Al<sub>0.8</sub>O<sub>10</sub>)((OH)<sub>1.78</sub>F<sub>0.22</sub>)<sub>2.00</sub>(h) наблюдается поздний прожилок скородита (Fe<sup>3+</sup><sub>0.63</sub>Ca<sub>0.34</sub>)<sub>0.97</sub>(As<sub>0.88</sub>Al<sub>0.06</sub>Fe<sub>0.06</sub>Si<sub>0.03</sub>)<sub>1.03</sub>O<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O (f)

и –  $(Fe^{3+}_{0.87}Ba_{0.10}Ca_{0.02}K_{0.02})_{1.01}(As_{0.97}Al_{0.07}Si_{0.02})_{1.06}O_4 \cdot 2H_2O$  (g) (с примесью глины).

Касситерит № 94/86 в сечении ⊥[001] кристалла «диаметром» 3 см содержит TiO<sub>2</sub> 0.00–0.56, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.41–0.88 и WO<sub>3</sub> 0.00–0.69 мас. % (рис. 18).



*Puc. 20.* Образец касситерита № 10/84 из Мерекской россыпи с точками анализа. *Fig. 20.* Cassiterite sample no. 10/84 from the Merek placer with analytical areas.

Касситерит № 94/86 содержит 97.64– 98.76 мас. % SnO<sub>2</sub> с небольшими примесями Та, Ті, W и по составу отвечает формуле  $(Sn_{0.98}Ti_{0.01})_{0.99}O_2$ (c, d). Состав касситерита около включений рутила характеризуется формулами:  $(Sn_{0.98}Ti_{0.01})_{0.99}O_2$ (c),  $(Sn_{0.99}Ti_{0.01})_{1.00}O_2$  (d, h, k),  $(Sn_{1.00}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  (g) и  $(Sn_{0.99}W_{0.01})_{1.00}O_2$  (o). В участках деформации касситерита (рис. 18а–г) выявлены включения рутила  $(Ti_{0.91}W_{0.05}Fe^{3+}_{0.03})_{0.99}O_2$  (a), железистого рутила  $(Ti_{0.62}Fe^{3+}_{0.34}W_{0.02}Al_{0.01})_{0.99}O_2$  (b) и  $(Ti_{0.50}Fe^{3+}_{0.24}Mn_{0.14}$  $Zn_{0.12})_{1.00}O_2$  (e) и участки относительно «чистого» рутила  $(Ti_{0.96}Fe^{3+}_{0.03}Nb_{0.01})_{1.00}O_2$  (f),  $(Ti_{0.97}Sn_{0.03})_{1.00}O_2$  (i) и  $(Ti_{0.98}Sn_{0.02})_{1.00}O_2$  (j). Встречен также V-содержащий рутил (рис. 18г):  $(Ti_{0.93}Nb_{0.02}V_{0.02}Fe^{3+}_{0.02}Sn_{0.01})_{1.00}O_2$  (m) и  $(Ti_{0.92}Nb_{0.03}Fe^{3+}_{0.02}Sn_{0.01}V_{0.01}W_{0.01})_{1.00}O_2$  (n).

Касситерит № 94/86а в сечении ⊥[001] ¼ кристалла (рис. 19) в периферической «зоне» с примесью Ті и Та характеризуется близким составом (Sn<sub>0.99</sub>Ti<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (b, c, d), а центральный участок отвечает формуле Sn<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (h, i). Трещины в касситерите «залечены» агрегатом Fe-хлорита с микровключениями станнина, куприта и самородного висмута.

Касситерит № 10/84 представляет собой фрагмент размером 2.5 см призматического кристалла в сечении II грани m(110) с примесью  $Ta_2O_5 0.58-0.81$  мас. % и формулой состава  $Sn_{1.00}O_2$  (d, e, f). Поздние трещины частично заполнены смесью лимонита (b, c) с аллофаном (g) и варламовитом (Sn,Fe)(O,OH)<sub>2</sub>, а также халькопиритом  $Cu_{1.03}Fe_{0.97}$  S<sub>2</sub> (a) и мусковитом ( $K_{0.88}Na_{0.07}Mg_{0.05}$ )<sub>1.00</sub>(Al<sub>1.74</sub>Fe<sub>0.23</sub> Mg<sub>0.03</sub>)<sub>2.00</sub>((Si<sub>3.30</sub>Al<sub>0.70</sub>)<sub>4,00</sub>O<sub>10</sub>)((OH)<sub>1.80</sub>F<sub>0.20</sub>)<sub>2.00</sub> (h') с микрообломками касситерита (рис. 20а).

Вольфрамит Мерекского месторождения из делювия по ключу Фома представлен досковидными кристаллами II оси [001] и их сростками длиной 3–6 см и более, со следами деформации и сколов. На кристаллах вольфрамита сохранились грани пинакоидов  $a\{100\}, t\{102\}$ и призм  $m\{110\}, f\{011\}$ .

В ранее исследованных кристаллах вольфрамита выявлено возрастание содержаний MnO 5–19 мас. % при снижении содержаний O составе касситерита и вольфрамита в рудах месторождений Дальнего Востока About the composition of cassiterite and wolframitein ores of the far east deposits.



*Puc. 21.* Образец вольфрамита  $\mathbb{N}$  73a с включениями сульфидов и топаза из Мерекской россыпи. *Fig. 21.* Wolframite sample no. 73a with inclusions of sulfides and topaz from the Merek placer.

Рис. 22. Образец вольфрамита № 736 с включениями козалита (?) и самородного висмута из Мерекской россыпи.

*Fig. 22.* Wolframite sample no. 73b with inclusions of kozalite (?) and native bismuth from the Merek placer.



FeO от центра кристаллов к периферии: от ферберита (Fe<sub>0.86</sub>Mn<sub>0.14</sub>)<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) и железистого гюбнерита (Mn<sub>0.53</sub>Fe<sub>0.47</sub>)<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) до гюбнерита (Mn<sub>0.92</sub>Fe<sub>0.08</sub>)<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>). На одном из кристаллов гюбнерита, облученных потоком тепловых нейтронов в реакторе BBP-К (г. Алматы), проявилась тонкая периферическая Fe-Mn зона призмы s{121}.

Вольфрамит характеризуется вариациями содержаний MnO (6.90–16.32 мас. %) и FeO (6.63–15.58 мас. %) в зональных кристаллах (рис. 21а), где периферическая зона образована гюбнеритом ( $Mn_{0.70}Fe_{0.28}Fe^{3+}_{0.02}$ )\_{1.00}(WO4) (a), средние зоны – ферберитом ( $Fe_{0.66}Mn_{0.30}Fe^{3+}_{0.04}$ )\_{1.00}(WO4) (b, d), а центральные участки – железистым гюбнеритом ( $Mn_{0.50}Fe_{0.46}$ )\_{0.96}(WO4) (c), ( $Mn_{0.50}Fe_{0.45}$ )\_{0.95}(WO4) (e, h) и ( $Mn_{0.51}Fe_{0.47}$ )\_{0.98}(WO4) (h). В вольфрамите выявлены микровключения арсенопирита  $Fe_{0.99}As_{1.00}S_{1.00}$ (j), висмутина  $Bi_{2.01}S_3$  (k), самородного висмута (l) и топаза (p) (рис. 216, в).

Вольфрамит № 73б (рис. 22) с вариациями содержаний MnO 9.39–13.93 мас. %, FeO 9.26–13.87 мас. % и WO<sub>3</sub> 76.66–77.98 мас. % характеризуется более железистым составом внутрен-

ми  $(Fe_{0.58}Mn_{0.42})_{1.00}(WO_4)$  (a),  $(Fe_{0.55}Mn_{0.40})_{0.95}(WO_4)$ (b),  $(Fe_{0.54}Mn_{0.40})_{0.94}(WO_4)$  (d),  $(Fe_{0.56}Mn_{0.43})_{0.98}(WO_4)$ (f) и  $(Fe_{0.56}Mn_{0.41})_{0.97}(WO_4)$  (i, j), но с тонкой периферической зоной железистого гюбнерита  $(Mn_{0.59}Fe_{0.39})_{0.98}(WO_4)$  (c) и  $(Mn_{0.54}Fe_{0.42})_{0.96}(WO_4)$  (e). В ферберите встречены сингенетичные микровключения сульфида Pb и Bi состава  $(Pb_{0.50}Bi_{0.35}Sb_{0.01})_{0.86}S$ (g) и самородного висмута (h).

них зон марганцовистого ферберита с формула-

Кристалл «досковидного» железистого гюбнерита № 74 длиной 5.5 см был распилен на две части (№№ 74а и 74б) (рис. 23а, б) и исследован в сечении сс грани пинакоида {100}. В образце № 74а минерал характеризуется следующими формулами:  $(Mn_{0.50}Fe_{0.41})_{0.91}(WO_4)$ (a),  $(Mn_{0.50})$  $Fe_{0.42})_{0.92}(WO_4)$  (b),  $(Mn_{0.49}Fe_{0.43})_{0.92}(WO_4)$  (c),  $(Mn_{0.51})_{0.92}(WO_4)$  $Fe_{0.45})_{0.96}(WO_4)$ (d),  $(Mn_{0.49}Fe_{0.42})_{0.91}(WO_4)$ (e).  $(Mn_{0.50}Fe_{0.44})_{0.94}(WO_4)$  (f),  $(Mn_{0.51}Fe_{0.44})_{0.95}(WO_4)$  (h). Вольфрамит из центрального участка является марганцовистым ферберитом (Fe<sub>0.60</sub>Mn<sub>0.32</sub>)<sub>0.92</sub>(WO<sub>4</sub>) (g). Ферберит из образца № 74б с содержанием МпО

1.25-8.23 мас. % характеризуется следующими формулами: (Fe<sub>0.70</sub>Mn<sub>0.30</sub>)<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) (a'),



Рис. 23. Две части кристалла вольфрамита № 74 (а, б) из Мерекской россыпи с участками анализа.

*Fig. 23.* Two parts of wolframite crystal no. 74 (a, b) from the Merek placer with analytical areas.

 $\begin{array}{l} (Fe_{0.86}Mn_{0.10})_{0.96}(WO_4) \ (b'), \ (Fe_{0.89}Mn_{0.10})_{0.99}(WO_4) \ (c'), \\ (Fe_{0.61}Mn_{0.35})_{0.96}(WO_4) \ (d'), \ (Fe_{0.66}Mn_{0.27})_{0.93}(WO_4) \ (e'), \\ (Fe_{0.73}Mn_{0.23})_{0.96}(WO_4) \ (f'), \ (Fe_{0.80}Mn_{0.19})_{0.99}(WO_4) \ (g'), \\ (Fe_{0.80}Mn_{0.15})_{0.95}(WO_4) \ (h', i), \ (Fe_{0.80}Mn_{0.13})_{0.93}(WO_4) \ (i'), \\ (Fe_{0.81}Mn_{0.14})_{0.95}(WO_4) \ (k), \ (Fe_{0.79}Mn_{0.14})_{0.93}(WO_4) \ (l). \end{array}$ 

Деформированный ферберит содержит включения мусковита  $(K_{0.86}Mg_{0.09})_{0.95}(Al_{1.80}Fe_{0.10}Mg_{0.10})_{2.00}(Si_{3.36}Al_{0.64})_{4.00}O_{10})((OH)_{1.83}F_{0.17})_{2.00}$  (n), кальцита (m, о) с небольшими примесями Fe, Mn и Mg, марганцовистого сидерита (p), а также сфалерита  $(Zn_{0.84}Fe_{0.14}Cu_{0.02})_{1.00}S$  (t) в агрегате со станнином  $Cu_{1.93}(Fe_{0.93}Zn_{0.16})_{1.09}Sn_{0.98}S_4$  (u).

# Касситерит и вольфрамит оловорудных месторождений Приморья

Тигриное W-Sn месторождение в Арминском рудном районе (рис. 2) выявлено П.И. Чёрным в 1954 г. по шлиховым ореолам касситерита и вольфрамита в россыпи ключей Снежного и Рудного в процессе геологической съемки и поисков масштаба 1:50 000 (Материков, Шацкая, 1958ф; Гаев, Гаева, 1959ф). Исследования руд начаты в 1954-1956 г. под руководством М.П. Материкова, а в 1957–1958 г. – геологами Татибинской партии проведены поисковооценочные работы с проходкой канав и штолен. В 1978-1985 г. на месторождении начаты отработка россыпи и разведочные работы (Акимов и др., 1985ф; Ивакин и др., 1985; Лариошкин и др., 1990ф), завершившиеся в 1992 г. В результате были выявлены протяженные линейные штокверковые зоны шириной >1200 м и до 800-1000 м на глубину, а также грейзеновая залежь «Тигрёнок» с рудами высокого качества, и обоснована возможность переработки бедных комплексных руд (Попова и др., 1988; 2013; Коростелёв и др., 1990; Попов, Попова, 1992; Гоневчук и др., 2005; Шнайдер, 2011).

Касситерит в ассоциации с вольфрамитом локализованы в рудных прожилках (до 20-40 штук на 1 метр выработок), рассекающих ранние прожилки рекристаллизованного (гранулированного) кварца с микрозернистым молибденитом. Рудные прожилки формировались в последовательности: 1) циннвальдит-ортоклаз-кварцевые, содержащие до 1-2 об. % касситерита и вольфрамита (с редким молибденитом); 2) касситерит-циннвальдит-кварцевые с содержанием касситерита до 10-20 об. % в ассоциации с вольфрамитом, арсенопиритом и сфалеритом; 3) сульфидно-триплит-ортоклазовые прожилки с касситеритом (до 1-3 об. %), железистым гюбнеритом и силикатами в зальбандах прожилков; 4) кварц-ортоклазовые прожилки с содержанием до 2-10 об. % гюбнерита и до 30 об. % триплита. На 2013 г. в месторождении были известны 123 минерала (Попова и др., 2013).

Касситерит из разных прожилков характеризуется варьирующей окраской от темно-коричневой до коричневой, светло-коричневой и розовато-коричневой или желтовато-сероватой. По результатам микрозондового анализа (Гоневчук и др., 2005), касситерит содержит 99.0–99.5 мас. % SnO<sub>2</sub> с небольшими примесями Fe, W, Ti, Nb, Ta и Sc. Отмечалось, что светло-коричневый касситерит содержит больше Sc (до 0.06 мас. %).

Нами исследован образец № 1985-О с касситеритом и вольфрамитом в разных участках кварцполевошпатового агрегата (рис. 24).

Касситерит с формулой  $(Sn_{1.00}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  (а) в срастании с вольфрамитом  $(Fe_{0.61}Mn_{0.39})_{1.00}(WO_4)$ (b) образуют сингенетичные сростки с кварцем периферической зоны кристаллов в друзовых полостях, а также прожилки в кварце (рис. 24a, б). Агрегаты касситерита нередко рассекаются прожилками кварца с шамозитом  $(Fe_{3.96}Al_{1.91}Mn_{0.13})_{6.00}$  $((Si_{2.72}Al_{1.28})_{4.00}O_{10})(OH)_8$  (c) (рис. 24в). На друО составе касситерита и вольфрамита в рудах месторождений Дальнего Востока About the composition of cassiterite and wolframitein ores of the far east deposits.



*Рис. 24*. Проанализированный образец касситерита № 1985-О из месторождения Тигриное. *Fig. 24*. Analyzed cassiterite sample no. 1985-О from the Tigrinoe deposit.

гих участках образца (рис. 24г) состав касситерита с примесями Fe, Ta и W отвечает формулам:  $(Sn_{0.99}Ta_{0.01}W_{0.01})_{1.01}O_2$  (d),  $(Sn_{0.96}Fe_{0.04}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  (e),  $(Sn_{0.96}Fe_{0.03}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$  (f) и  $(Sn_{0.96}Fe_{0.04})_{1.00}O_2$  (g). В касситерите присутствуют сингенетичные микровключения вольфрамита размером до 3 мкм. В деформированном касситерите выявлена при-

месь  $Al_2O_3$  (0.36–0.44 мас. %), возможно, связанная с микровключениями диаспора AlO(OH), что отражается в формулах состава участков касситерита:  $(Sn_{0.98}W_{0.01}Ta_{0.01}Ti_{0.01})_{1.01}O_2$  (h),  $(Sn_{0.99}Ta_{0.02}Al_{0.01}W_{0.01}Ti_{0.01})_{1.04}O_2$  (i) и  $(Sn_{0.96}Al_{0.02}Ta_{0.01}W_{0.01})_{1.00}O_2$  (j) (рис. 24д).

В касситерите  $Sn_{1.00}O_2$  (p) и ( $Sn_{0.95}Fe_{0.04}$  W\_{0.01})\_{1.00}O\_2 (q) на контакте с кварцем встречено

включение ксенотима-(Y) ( $Y_{0.74}Gd_{0.07}Dy_{0.06}Yb_{0.06}Er_{0.04}$ Sm<sub>0.01</sub>U<sub>0.01</sub>)<sub>0.99</sub>(PO<sub>4</sub>) (k), (Y<sub>0.88</sub>Gd<sub>0.04</sub>Dy<sub>0.03</sub>Yb<sub>0.03</sub>Er<sub>0.03</sub> Sm<sub>0.01</sub> Nd<sub>0.01</sub>Ho<sub>0.01</sub>)<sub>1.04</sub>(PO<sub>4</sub>) (l), (Y<sub>0.79</sub>Gd<sub>0.07</sub>Dy<sub>0.06</sub>Yb<sub>0.05</sub> Er<sub>0.04</sub>Th<sub>0.01</sub>Sm<sub>0.01</sub>)<sub>1.02</sub>(PO<sub>4</sub>) (m), (Y<sub>0.73</sub>Gd<sub>0.08</sub>Dy<sub>0.08</sub>Yb<sub>0.06</sub> Er<sub>0.04</sub>Ho<sub>0.02</sub>Tb<sub>0.01</sub>Sm<sub>0.01</sub>)<sub>1.03</sub>(PO<sub>4</sub>) (n) и (Y<sub>0.72</sub>Gd<sub>0.09</sub>Dy<sub>0.09</sub> Yb<sub>0.06</sub>Er<sub>0.05</sub>Tb<sub>0.02</sub>Sm<sub>0.01</sub>)<sub>1.04</sub>(PO<sub>4</sub>) (o) (рис. 24e).

В агрегате кварца с флюоритом (х) выявлены включения халькозина (s, r, w), галенита (t), виттихенита (u) и сфалерита (v) (рис. 24ж). В прожилке кварца с шамозитом – (Fe<sub>3.94</sub>Al<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.13</sub>Cu<sub>0.05</sub>Mg<sub>0.04</sub>) Al((Si<sub>2.72</sub>Al<sub>1.28</sub>)<sub>4.00</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>8</sub> (a') обнаружен борнит Cu<sub>5.04</sub>Fe<sub>1.04</sub>S<sub>4</sub> (y) с включением обломков касситерита (Sn<sub>0.98</sub>Fe<sub>0.01</sub>Ta<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (z), рассеченного шамозиткварцевым прожилком (рис. 24з). На другом участке шамозит-кварцевого агрегата (рис. 24и) выявлен борнит (Bn) с включением рокезита Cu<sub>1.10</sub>(In<sub>0.96</sub>Fe<sub>0.04</sub>)<sub>1.00</sub>S<sub>2</sub> (b'), ганита (Gn) и ковеллина (Cv).

Состав касситерита характеризуется следующими формулами (рис. 24к, л): (Sn<sub>0.97</sub>Fe<sub>0.02</sub>Ta<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (c'),  $(Sn_{0.97}Fe_{0.03})_{1.00}O_2$  (d'),  $(Sn_{0.97}W_{0.02}Fe_{0.01}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$ (e'),  $(Sn_{0.95}Fe_{0.04}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$ (f'),  $Sn_{0.99}O_{2}$ (p),  $(Sn_{1.00}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  $(Sn_{0.99}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$ (q), (r),  $(Sn_{0.98}Ti_{0.01}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$  (s),  $(Sn_{0.99}Ti_{0.01}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  (t, u, w) и (Sn<sub>0.98</sub>Ti<sub>0.01</sub>Ta<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (v). Вариации содержаний Fe и W в составе касситерита месторождения обусловлены, вероятно, микровключениями вольфрамита.

Вольфрамит выявлен в серии последовательных рудных прожилков. Кристаллы и «зерна» вольфрамита таблитчатые, размером до 2-3 см и более; часто встречались двойники по {100} и {023}. В разных по составу рудных прожилках вольфрамит сокристаллизовался с кварцем, циннвальдитом, топазом, касситеритом, арсенопиритом и сфалеритом. В рудных прожилках выявлен вольфрамит последовательных генераций со следующим содержанием MnWO<sub>4</sub> (мол. %): 5-20 - в топаз-кварцевых прожилках (ферберит), 45-70 - в касситеритадуляр-кварцевых прожилках (марганцовистый вольфрамит и гюбнерит), 75-95 мол. % - гюбнерит (Попов, Попова, 1992). Вольфрамит из прожилков в штольне № 7 отличается составом зон от центра кристаллов к периферии. Так, в прожилке из квершлага № 17 состав вольфрамита в центре кристалла - (Mn<sub>0.69</sub>Fe<sub>0.30</sub>)<sub>0.99</sub>(WO<sub>4</sub>), в периферической зоне пинакоида (100) – (Mn<sub>0.51</sub>Fe<sub>0.49</sub>)<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>), в зоне призмы  $(102) - (Mn_{0.66}Fe_{0.34}Nb_{0.01})_{1.01}(WO_4).$ 

Усть-Микулинское Sn-W месторождение выявлено в 1952 г. шлиховым методом близ устья р. Микулы – правого притока р. Арму (рис. 3) геологами Средне-Иманской поисково-разведочной партии Ю.Н. Размахниным и Э.М. Размахниной в пределах Приискового рудного узла Арминского рудного района. В 1954–1989 гг. в грейзенизированных осадочных породах выявлено 150 минерализованных зон северо-западного простирания с тремя перспективными рудными зонами – Арминская, Спутница и Надежда. Ориентировочные запасы рудных минералов в рудных зонах Арминская и Надежда составляли (тыс. т): вольфрамита – 95.6, касситерита – 18.9, сфалерита – 22.4, халькопирита – 79.0, арсенопирита – 219.4, пирротина – 236.9, пирита – 599.2 (Попов, Попова, 1993).

Нами минералогия месторождения исследована в 1990–1991 гг. по заказу Таёжной ГРЭ ПГО «Приморгеология» (Попов, Попова, 1993). В выработках штольни № 1, канавах и керне скважин выявлены взаимоотношения и состав разных прожилков с относительно ранними вольфрамитсодержащими жилками и секущими их жилками с касситеритом (рис. 25). В грейзенах содержание касситерита и вольфрамита составляло 0.01–0.03 об. %, в рудных зонах – касситерита до 0.02–0.20 об. % и вольфрамита 0.07–0.24 об. %.

Касситерит в рудах мелкий, но встречались и дипирамидально-призматические кристаллы и сростки до 2–6 мм с преобладающими гранями призмы  $m\{110\}$  и дипирамиды  $s\{111\}$ , иногда с участками граней дитетрагональной дипирамиды  $z\{231\}$  и проявляющимися (на просвет) внутренними зонами пирамиды роста пинакоида  $c\{001\}$ (рис. 26). Цвет кристаллов и двойников касситерита неоднородно-коричневый, более темный в зонах дипирамиды  $s\{111\}$ , а наиболее светлый – в зонах призмы  $m\{110\}$ . В шлихах и керне скважин встречались оолиты «деревянистого» касситерита.

Относительно повышенные количества касситерита отмечались в зональных прожилках зоны Арминской. Касситерит сокристаллизовался с кварцем, топазом и поздними зонами вольфрамита. Касситерит из керна скважины № 25 в зонах пирамид роста (от центра к периферии) отвечает формулам: в призме  $m\{110\}$  и дитетрагональной дипирамиде  $z\{231\} - Sn_{1.00}O_2$ , в последовательных зонах дипирамиды  $s\{111\} - Sn_{1.00}O_2$  и  $(Sn_{0.99}Fe_{0.01})_{1.00}O_2$ .

Вольфрамит в прожилках из рудных зон образует агрегаты с кварцем, мусковитом, касситеритом, арсенопиритом, лёллингитом, пирротином, топазом, сфалеритом и станнином. Размер индивидов и двойников вольфрамита составляет 2– 10 мм, изредка до 5–10 см (в зоне Надежда). Наиболее железистый вольфрамит встречен в кассиО составе касситерита и вольфрамита в рудах месторождений Дальнего Востока About the composition of cassiferite and wolframitein ores of the far east deposits.

Рис. 25. Аподацитовый грейзен (1) с вольфрамитсодержащими прожилками (2), рассеченными прожилком с касситеритом (3) и прожилками гизингерита в штольне № 1 Усть-Микулинского месторождения.

Fig. 25. Greisen after dacite (1) with wolframitebearing veins (2) crossed by the vein with cassiterite (3) and gisingerite veins in adit no. 1 of the Ust-Mikulinskoe deposit.



Рис. 26. Двойник (а) и монокристаллы касситерита (б, в) с внутренними зонами пирамиды роста пинакоида {001}; г – вольфрамит Усть-Микулинского месторождения

*Fig. 26.* Twin (a) and monocrystals of cassiterite (a,  $\delta$ ) with inner zones of the growth pyramid of pinakoid {001};  $r - \delta$ wolframite from the Ust-Mikulinskoe deposit.

терит-кварцевых прожилках с топазом, пирротином, арсенопиритом и сфалеритом. В кристаллах вольфрамита центральные участки – железистые с марганцовистыми перифериче-(ферберит) скими зонами: 1a, центр – (Fe<sub>0.79</sub>Mn<sub>0.25</sub>)<sub>0.94</sub>(WO<sub>4</sub>); 16, край – (Fe<sub>0.62</sub>Mn<sub>0.41</sub>)<sub>1.03</sub>(WO<sub>4</sub>); 2a, центр – (Fe<sub>0.77</sub>Mn<sub>0.29</sub>)<sub>1.06</sub>(WO<sub>4</sub>); 2б, край – (Fe<sub>0.54</sub>Mn<sub>0.48</sub>)<sub>1.02</sub> (WO<sub>4</sub>); 3a, центр – (Fe<sub>1.02</sub>Mn<sub>0.03</sub>Nb<sub>0.01</sub>)<sub>1.06</sub>(WO<sub>4</sub>); 3б, край – (Mn<sub>0.80</sub>Fe<sub>0.22</sub>)<sub>1.02</sub>(WO<sub>4</sub>). В зоне окисления вольфрамит иногда частично замещен темно-серым тунгстенитом.

Забытое Sn-W месторождение открыто в 1952 г. геологами Средне-Иманской партии Э.М. Размахниной и Ю.Н. Размахниным по свалам вольфрамит-кварцевых жил на крутом правом берегу р. Иман (Большой Уссурки) в Арминском рудном районе в зоне Главного синклинория Сихотэ-Алиня (рис. 3). Минералогия месторождения изложена в рукописных отчётах Э.М. Размахниной и В.Т. Шацкой в 1959 г. Геологическое строение месторождения с данными о рудах и минералах уточнено В.Т. Шацкой, а позднее – рядом исследователей (Гвоздев и др., 1990). В 2013 г. часть месторожде-

200°



*Рис.* 27. Агрегат касситерита (Cst) с сингенетичными минералами и участками анализа (а–з) из месторождения Забытое.

Fig. 27. Cassiterite aggregate (Cst) with syngenetic minerals and analytical areas (a-z) from the Zabytoe deposit.

ния Забытое приобретена ООО «Приморвольфрам» (www.nedradv.ru).

Нами месторождение обследовано в 1991 г. (Попов и др., 1992). Субмеридиональные кварцевые жилы с касситеритом и вольфрамитом локализованы в биотитизированных и грейзенизированных вулканогенно-осадочных породах (K<sub>1</sub>v) и в гранитоидах западного участка Приискового массива.

Наместорождении известно 95 минералов (Попов и др., 1992). В грейзеновую стадию (после ранних кварц-адуляровых и кварц-сидерофиллитовых жил) сформировались последовательные Sn-W рудные жилы пяти типов: 1) циннвальдит-кварцевые с касситеритом, вольфрамитом, топазом, бериллом, флюоритом и сульфидами (сфалеритом, халькопиритом, молибденитом); 2) берилл-топаз-кварцевые с вольфрамитом, молибденитом, висмутином и самородным висмутом; 3) вольфрамит-кварцевые с бертрандитом, гельвином, молибденитом, флюоритом, висмутином и самородным висмутом; 4) топаз-кварцевые с вольфрамитом, пирротином и сфалеритом; 5) топаз-кварцевые с вольфрамитом, касситеритом, станнином и арсенопиритом.

Касситерит в рудах мелкий (0.1–3.0 см) и редкий: его содержание в зоне Озорная составляет 0.01 об. %, в зонах Зелёная и Кварцевая – по 1.00 %, в технологической пробе из зоны Майская (с экзо-

контактовыми метасоматитами) – 0.04 %. Касситерит образует комплексные двойники по (100) и (110) с числом индивидов от 2 до 10 в агрегатах с топазом, кварцем, вольфрамитом, флюоритом, циннвальдитом и сульфидами. Касситерит визуально зонально-секториальный со светло-коричневыми и темно-коричневыми зонами и повышенными содержаниями Fe, Ti, W, Nb и Mn (в 5–10 раз) в темных зонах по данным спектрального анализа.

Нами касситерит исследован в агрегатах с кварцем, топазом и сопутствующими минералами (рис. 27). Состав касситерита характеризуется формулами: (Sn<sub>0.97</sub>Ti<sub>0.03</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (c), (Sn<sub>0.98</sub>Ti<sub>0.01</sub>Ta<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (d, q, o),  $(Sn_{0.98}Ti_{0.02}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  (g, t, u),  $(Sn_{0.98}Ti_{0.02})_{1.00}O_2$ (n),  $(Sn_{0.98}Ti_{0.01}Ta_{0.01}W_{0.01})_{1.01}O_2$  (p),  $(Sn_{0.97}Ti_{0.02}Ta_{0.01})_{1.00}$  $O_2$  (r),  $(Sn_{0.99}Ti_{0.01}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$  (s),  $(Sn_{0.96}Ti_{0.03}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$ Nb<sub>0.01</sub>)<sub>1.01</sub>O<sub>2</sub> (v) и (Sn<sub>0.94</sub>Ti<sub>0.03</sub>Ta<sub>0.02</sub>Nb<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (w). Heредко касситерит содержит сингенетичные вростки железистого гюбнерита (Mn<sub>0.50</sub>Fe<sub>0.46</sub>)<sub>0.96</sub>(WO<sub>4</sub>) (b),  $(Mn_{0.50}Fe_{0.45})_{0.95}(WO_4)$  (e),  $(Mn_{0.57}Fe_{0.43})_{1.00}(WO_4)$ (h, i), топаза и флюорита (Са<sub>0.99</sub>Y<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>F<sub>2</sub> (a). Относительно поздние минералы включают уранинит  $(U_{0.82}Th_{0.17}Pb_{0.01})_{1.00}O_2$  (f), станнин  $Cu_{2.03}(Fe_{0.65}Zn_{0.35})_{1.00}$ Sn<sub>1.06</sub>S<sub>4</sub> (1), сфалерит (Zn<sub>0.88</sub>Fe<sub>0.10</sub>)<sub>0.98</sub>S (j, m), триплит  $(Mn_{1.39}Fe_{0.46}Mg_{0.14}Ca_{0.06})_{2.05}(PO_4)[F_{0.87}(OH)_{0.13}]_{1.00}$  (с') и торит.

O составе касситерита и вольфрамита в рудах месторождений Дальнего Востока About the composition of cassiterite and wolframitein ores of the far east deposits.



*Рис.* 28. Вольфрамит (Wfm) с касситеритом (Cst), топазом (Tpz), сфалеритом (Sph), рутилом и кристаллы гюбнерита (г–е) из месторождения Забытое.



Вольфрамит образует удлиненно-таблитчатые кристаллы размером 1–7 см и более с участками граней пинакоидов  $a\{100\}$  и  $b\{010\}$  в комбинации с гранями призм с топазом, касситеритом, железистым фтормусковитом, сфалеритом и рутилом (рис. 28).

По составу вольфрамит относится к железистому гюбнериту с содержанием FeO 10.76 мас. % и формулой ( $Mn_{0.52}Fe_{0.45}Sc_{0.03}$ )<sub>0.99</sub>(WO<sub>4</sub>) (h) (рис. 28б). В сечении кристаллов периферическая зона пинакоида {102} образована гюбнеритом с формулой ( $Mn_{0.70}Fe_{0.30}$ )<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) (a); а периферические зоны пинакоида {100} высокожелезистые – ( $Mn_{0.52}Fe_{0.48}$ )<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) (b) и ( $Mn_{0.51}Fe_{0.49}$ )<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) (c) (см. рис. 28г). В другом кристалле (рис. 28д, е) состав зон пинакоида {100} более железистый – ( $Fe_{0.55}Mn_{0.45}$ )<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) (a') и ( $Mn_{0.53}Fe_{0.47}$ )<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) (b'), а в зоне пинакоида {102} – ( $Fe_{0.55}Mn_{0.45}$ )<sub>1.00</sub>(WO<sub>4</sub>) (c').

В гюбнерите встречено включение зонального рутила (рис. 28б) с вариациями содержаний примесей (мас. %):  $V_2O_5$  1.04–2.11; FeO 0–2.47; Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.32–1.11; WO<sub>3</sub> 1.12–7.91; SnO<sub>2</sub> 2.26–3.03; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.23–0.35 и следами Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Состав рутила в темной зоне характеризуется формулой (Ti<sub>0.95</sub>V<sub>0.02</sub>Sn<sub>0.02</sub>)<sub>0.99</sub>O<sub>2</sub> (d), а в темно-серой зоне –  $(Ti_{0.91}Fe_{0.03}W_{0.03}V_{0.01}$ Sn\_0.01)\_0.99O2 (g).

На другом участке состав вольфрамита (рис. 28а) соответствует марганцовистому фербериту с примесью Nb и Sc:  $(Fe_{0.50}Mn_{0.47}Nb_{0.03})_{0.98}(WO_4)$ (t) и  $(Fe_{0.65}Mn_{0.30}Nb_{0.03})_{0.98}(WO_4)$  (u). Минерал содержит сингенетичное включение зонального гояцитагорсейксита (рис. 29а). Зоны гояцита (более темные в режиме BSE) содержат Fe, Ba, F и Th: –  $(Sr_{0.82}$  $Ba_{0.31}Fe_{0.09})_{1.22}Al_{3.35}(PO_4)_2[F_{1.27}(OH)_{0.73}]_{2.00}(OH)_5$  (q) и  $(Sr_{0.68}Ba_{0.27}Fe_{0.03})_{0.99}Al_{3.07}(PO_2[F_{0.88}(OH)_{0.25}]_{1.03}(OH)_6$ (s), а менее темные зоны (горсейксит) –  $(Ba_{0.57}$  $Sr_{0.44})_{1.01}Al_{3.28}(PO_4)_2[(OH)_{1.08}F_{0.91}]_{1.99}(OH)_5$  (г). Присутствие F и повышенные содержания Al пока не нашли объяснения.

В агрегате кварца со сфалеритом  $(Zn_{0.86}Fe_{0.13})_{0.99}S_{1.02}$  (х) (рис. 29б) и  $(Zn_{0.92}Fe_{0.07})_{0.99}S$  выявлены включения станнина  $Cu_{1.97}(Fe_{0.88}Zn_{0.22})_{1.00}Sn_{1.03}S_4$ , арсенопирита, лёллингита  $Fe(As_{1.81}S_{0.12})_{0.93}$ , а также триплит, флюорит и уранинит  $(U_{0.82}Th_{0.16}Pb_{0.02})_{1.00}O_2$ .

Шибановское Sn-W месторождение (рудный узел площадью 120 км<sup>2</sup>) выявлено в 1952 г. шлиховым методом в процессе геологической



*Рис. 29.* Зональный гояцит-горсейксит в ферберите (а) и включения сфалерита (х) со станнином и ганитом (б) в кварце из месторождения Забытое.

*Fig. 29.* Zoned gojacite-gorseixite in ferberite (a) and inclusions of sphalerite (x) with stannite and ganite (b) in quartz from the Zabytoe deposit.



*Рис. 30.* Кристалл касситерита № 97 с участками анализа с ассоциирующими минералами из месторождение Шибановское.

Fig. 30. Cassiterite crystal no. 97 with analytical areas with associated minerals from the Shibanovskoe deposit.

съемки Средне-Иманской партией в Спасском районе, в 200 км на ССВ от Владивостока и в 20 км на СЗ от Арсеньева в верховьях ручья Шибановского (впадающего в р. Арсеньевку) на ЮВ склоне хребта «Синий» (западные отроги хребта Сихотэ-Алинь) с Sn-W-россыпями (рис. 4). Месторождение объединяет Верхне-Шибановское Sn-W рудопроявление и россыпи Западно-Шибановскую и Восточно-Шибановскую, содержащих касситерит от знаков до 5 г/м<sup>3</sup>.

Верхне-Шибановское олово-вольфрамовое рудопроявление включает серию жил блоковых гранитных пегматитов мощностью до 20 см в гранитах палеогенового возраста и в небольших зонах касситеритсодержащих мусковитовых грейзенов в зонах дробления гранита, а также аллювиальные россыпи касситерита с вольфрамитом и монацитом (Степнова, 2013). Содержания Sn в жилах и грейзенах составляют 0.01–0.6 мас. %, редко до 1– 2 мас. %. В гранитоидах, кроме касситерита, вольфрамита и монацита-(Ce), отмечались алланит-(Ce), берилл, чералит CaTh(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, дэлиит K<sub>2</sub>Zr (Si<sub>6</sub>O<sub>15</sub>), ильменит, ксенотим-(Y), турмалин (шерл), фергусонит-(Се), а в россыпях – топаз, морион и дымчатый кварц. Прогнозные ресурсы касситерита в россыпях Западно-Шибановского поля составляли 600 т при среднем содержании касситерита ~300 г/м<sup>3</sup>.

Касситерит образца № 97 в сечении  $\bot$ [001] по составу почти однородный (рис. 30) с примесью Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.069–0.091 мас. % и близкими формулами на разных участках: (Sn<sub>0.99</sub>Ta<sub>0.01</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (a, d, e), (Sn<sub>1.00</sub>Ta<sub>0.01</sub>)<sub>1.01</sub>O<sub>2</sub> (b, c) и (Sn<sub>0.96</sub>Ti<sub>0.04</sub>)<sub>1.00</sub>O<sub>2</sub> (l). Касситерит ассоциирует с кварцем, мусковитом K<sub>0.92</sub>(Al<sub>1.68</sub> Fe<sub>0.30</sub>Mn<sub>0.02</sub>)<sub>2.00</sub>((Si<sub>3.12</sub>Al<sub>0.88</sub>)<sub>4.00</sub>O<sub>10</sub>)((OH)<sub>1.75</sub>F<sub>0.25</sub>)<sub>2</sub> (f), баритом и содержит включения триплита (Mn<sub>1.50</sub> Fe<sub>0.32</sub>Mg<sub>0.19</sub>Ca<sub>0.06</sub>)<sub>2.07</sub>(PO<sub>4</sub>)F<sub>0.91</sub> (i), рутила (Ti<sub>0.93</sub>V<sub>0.28</sub> Nb<sub>0.01</sub>Sn<sub>0.01</sub>W<sub>0.01</sub>Fe<sub>0.01</sub>)<sub>1.26</sub>O<sub>2</sub> (j) и топаза.

Вольфрамит отмечался в аллювиальных россыпях гранитов и жил блоковых гранитных пегматитов с касситеритом, монацитом, фергусонитом, ксенотимом, ильменитом, кварцем, топазом, бериллом, биотитом, мусковитом и турмалином (Степнова, 2013). В наших образцах вольфрамит не встречен.

## Вариации формул преобладающего состава касситерита в ассоциации с вольфрамитом в месторождениях Приамурья и Приморья

### Variations in formulas of predominant composition of cassiterite associated with wolframite in deposits of the Amur region and Primorye

Касситерит		Вольфрамит
Хинганское месторождение		
1	$(Sn_{0.99}Ti_{0.01})_{1.00}O_2$	$(Mn_{0.60}Fe_{0.34})_{0.94}(WO_4)$
2	$(Sn_{0.98}Ti_{0.01}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$	$(Mn_{0.61}Fe_{0.34})(WO_4)$
Берёзовое месторождение		
3	$(Sn_{0.98}Fe_{0.01})_{0.99}O_2$	$(Fe_{0.91}Mn_{0.09})_{1.00}(WO_4)$
Карадубское месторождение		
4	$(Sn_{0.97}Fe_{0.03})_{1.00}O_2$	$(Fe_{091}Mn_{0.08})_{0.99}(WO_4)$
Правоурмийское месторождение		
5	$(Sn_{0.93}Nb_{0.04})_{0.97}O_2$	$(Fe_{0.64}Mn_{0.36})_{1.00}(WO_4)$
Мерекская россыпь		
6	$Sn_{1.00}O_2$	$(Mn_{0.51}Fe_{0.47})_{0.98}(WO_4)$ – центр
7	$(Sn_{0.99}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$	(Fe <sub>0.70</sub> Mn <sub>0.30</sub> ) <sub>1.00</sub> (WO <sub>4</sub> ) – середина
8	$(Sn_{0.98}Ti_{0.01})_{0.99}O_2$	(Мп <sub>0.70</sub> Fe <sub>0.30</sub> ) <sub>1.00</sub> (WO <sub>4</sub> ) – край
Тигриное месторождение		
9	$(Sn_{0.99}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$	$(Fe_{0.52}Mn_{0.38})_{1.00}(WO_4)$
10	$(Sn_{0.96}Fe_{0.04}Ta_{0.01})_{1.01}O_2$	$(Mn_{0.69}Fe_{0.30})_{0.99}(WO_4)$
11	$(Sn_{0.98}Ti_{0.01}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$	$(Mn_{0.51}Fe_{0.49})_{1.00}(WO_4)$
Усть-Микулинское месторождение		
12	$Sn_{1.00}O_2$	(Fe <sub>0.77</sub> Mn <sub>0.29</sub> ) <sub>1.06</sub> (WO <sub>4</sub> ) – центр
13	$(Sn_{0.99}Fe_{0.01})_{1.00}O_2$	(Fe <sub>0.54</sub> Mn <sub>0.48</sub> ) <sub>1.02</sub> (WO <sub>4</sub> ) – край
14	$Sn_{1.00}O_2$	$(Mn_{0.80}Fe_{0.22})_{1.02}(WO_4)$
Забытое месторождение		
15	$(Sn_{0.97}Ti_{0.03})_{1.00}O_2$	$(Mn_{0.50}Fe_{0.46})_{0.96}(WO_4)$
16	$(Sn_{0.98}Ti_{0.01}Ta_{0.01})_{1.00}O_2$	$(Mn_{0.50}Fe_{0.45})_{0.95}(WO_4)$
17	$(Sn_{0.98}Ti_{0.01}Ta_{0.01}W_{0.01})_{1.01}O_2$	$(Mn_{0.57}Fe_{0.43})_{1.00}(WO_4)$

### выводы

Оловорудные касситеритовые и вольфрамиткасситеритовые месторождения Приамурья и Приморья отличаются строением и минерализацией с варьирующим составом главных рудных минералов - касситерита и вольфрамита (таблица). Среди исследованных образцов наиболее частыми примесями касситерита являются Ti, Ta, Nb, Fe и W (вероятно, в некоторых случаях из-за микровключений рутила, тантало-ниобатов и вольфрамита). Вольфрамит обычно не содержит примесей, гюбнерит преобладает над ферберитом, иногда минерал содержит Nb или Nb с Ta. Вариации преобладающего состава касситерита в парагенезисе с вольфрамитом из некоторых месторождений Приамурья и Приморья приведены в таблице. Характерно, что нередко касситерит содержит Ті, Та и Nb, которые

Все упомянутые в статье месторождения олова и вольфрама связаны с гранитами, представлены жилками и зонами штокверков. Типичная минеральная ассоциация с кварцем, железистым мусковитом, топазом, турмалином позволяет отнести

отсутствуют в сингенетичном с ним вольфрамите,

сторождений Приамурья и Приморья также вы-

явлены ранее неизвестные минералы: герсдор-

фит, колумбит-Мп, монацит-(Се), триплит, циркон

(Хинганское месторождение), арсенопирит, само-

родный висмут, висмутин, ильменит, сульфиды Pb

и Ві, сфалерит, V-содержащий рутил, варламовит и

скородит (Мерекская россыпь), виттихенит и роке-

зит (Тигриное месторождение), гизингерит (Усть-

Микулинское), уранинит и гояцит-горсейксит (За-

В исследованных образцах из разных ме-

а также встречаются и обратные случаи.

Таблица

Table

их формирование к грейзеновой формации. Состав минералообразующих элементов в касситерите и вольфрамите из разных месторождений сходен. Тем не менее, различия в морфологии и размере выделений минералов Sn и W обуславливают невозможность обогащения руд по унифицированной технологической схеме.

## ЛИТЕРАТУРА

Акимов В.М., Орловский В.В., Алёшин В.В., Ивакин А.И., Левшук А.Е. (1985ф) Результаты поисковоразведочных работ на месторождении Тигриное (Приморье). Рощино, Таёжная ГРЭ, 270 с.

Алексеев В.И., Марин Ю.Б., Гавриленко В.В. (2019) Редкометалльная минерализация оловорудных проявлений в районе развития литий-фтористых гранитов (Верхнеурмийский рудный узел, Приамурье). *Тихоокеанская геология*, 38(2), 27–40. https://doi.org/10.30911/0207-4028-2019-38-2-27-40

Банщикова Т.С., Крюкова Г.В. (1988) Типоморфные особенности минералов Правоурмийского месторождения (Приамурье). Минералогия месторождений Дальнего Востока. Владивосток, ДВО АН СССР, 50–57.

Богданов В.И., Кокорин А.М., Коростелёв В.Г. и др. (1979) Вещественный состав и условия образования Правоурмийской оловорудной зоны. *Минералогия* и геохимия оловорудных месторождений. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 36–51.

Гаев И.А., Гаева Н.М. (1959ф) Отчет о геологических результатах работ, проведенных Татибинской партией в 1957–1958 гг. в бассейне реки Татибе и на Тигрином вольфрам-оловорудном месторождении. Рощино, Иманская ГСЭ, 202 с.

Гвоздев В.И., Коростелёв П.Г., Игнатьев А.В. и др. (1990) Минеральные ассоциации и генезис руд месторождения Забытого (Приморье). Минеральные ассоциации месторождений олова и вольфрама на Дальнем Востоке. Владивосток, ДВО АН СССР, 3–16.

Гоневчук В.Г., Коростелёв П.Г., Семеняк Б.И. (2005) О генезисе оловорудного месторождения Тигринное (Россия). *Геология рудных месторождений*, 47(3), 249–264.

Ивакин А.Н., Левшук А.Е., Орловский В.В., Акимов В.Н. (1985) Олово-вольфрамовое оруденение порфирового типа в Приморье. *Разведка и охрана недр*, 8, 22–26.

Ициксон Г.В., Рундквист Д.В., Павлова И.Г., Щербинин Е.С., Огнянов Н.В., Феклович О.П., Шишканова О.Ф., Попкова М.И. (1959) Оловорудные месторождения Малого Хингана. *Труды ВСЕГЕИ*, 27, 344 с.

Коростелёв П.Г., Гоневчук В.Г., Гоневчук Г.А. и др. (1990) Минеральные ассоциации грейзенового вольфрамово-оловянного месторождения (Приморье). Минеральные ассоциации месторождений олова и вольфрама на Дальнем Востоке. Владивосток, ДВО АН СССР, 17–61. Косовец Ю.Г., Ставров О.Д. (1983) Локальный спектральный анализ в геологии. М., Недра, 103 с.

Крюков В.Г., Никулин Н.Н., Грушкин Н.Н. (1988) Состав и зональность околорудных метасоматитов Карадубского рудного поля. *Минералогия месторождений Дальнего Востока*. Владивосток, ДВО АН СССР, 28–40.

Лариошкин А.К., Орловский В.В., Акимов В.Н., Колотова Т.А. (1990ф) Материалы к ТЭО постоянных кондиций по результатам детальной разведки Тигриного месторождения. Рощино, Таёжная ГРЭ, т. 1, 178 с.

Материков М.П., Шацкая В.Т. (1958ф) Геология оловорудных месторождений Арму-Иманского района в Приморье. М., ВИМС, 120 с.

Погребс Н.А. (1993) Минералогия и генезис рудных образований Правоурмийского оловорудного месторождения. Автореферат дисс. на соиск. степ. канд. геол.мин. наук. Санкт-Петербург, 21 с.

Попов В.А., Попова В.И. (1992) Методика и результаты минералогического картирования вольфрамоловянного месторождения Тигриное (Приморье). Екатеринбург, Наука, 92 с.

Попов В.А., Попова В.И. (1993) Минералогия руд Усть-Микулинского оловянно-вольфрамового месторождения (Приморье). Миасс, ИМин УрО РАН, 77 с.

Попов В.А., Попова В.И., Виноградова Л.Г. (1992) Минералогия редкометалльного месторождения Забытое (Приморье). Миасс, ИМин УрО РАН, 65 с.

Попова В.И. (1980) Минералогия руд Берёзового оловорудного месторождения. *Минералогические исследования гидротермалитов Урала*. Свердловск, УНЦ АН СССР, 82–93.

Попова В.И., Баженова Л.Ф. (1976) Первая находка флюоцерита на Дальнем Востоке. *Минералы и парагенезисы минералов горных пород*. Ленинград, Наука, 135–139.

Попова В.И., Синяков Е.Я. (1978) Минералогическое картирование месторождений (на примере Хинганского оловорудного месторождения). *Материалы к минералогии Южного Урала*. Свердловск, УНЦ АН СССР, 30–42.

Попова В.И., Тимошин В.Т. (1987) О зональносекториальном распределении стабильных изотопов олова в касситерите из россыпи р. Мерек (Хабаровский край). Минералогия рудных районов Дальнего Востока. Владивосток, ДВО АН СССР, 52–58.

Попова В.И., Попов В.А., Долгопят Л.Г. (1988) Методика и результаты изучения состава и распределения вольфрамита на Тигрином месторождении в Приморье. *Минералогия месторождений Дальнего Востока*. Владивосток, ДВО АН СССР, 40–50.

Попова В.И., Попов В.А., Коростелёв П.Г., Орловский В.В. (2013) Минералогия руд W-Sn месторождения Тигриное на Сихотэ-Алине и перспективы его освоения. Екатеринбург, РИО УрО РАН, 132 с.

Семеняк Б.И., Родионов С.М., Гоневчук В.Г., Коростелёв П.Г., Кокорин А.М. (2006). Правоурмийское

месторождение. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток, Дальнаука, 20 с.

Синяков Е.Я. (1975) Зоны брекчий Хинганского месторождения и некоторые вопросы их генезиса. *Геология и геофизика*, 6, 95–101.

Степнова Ю.А. (2013) Генезис и флюидный режим формирования рудно-магматической системы Шибановского рудного узла. Автореферат дисс. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 30 с.

Шнайдер А.А. (2011) Вольфрамиты оловянновольфрамового месторождения Тигриное (Приморье). *Записки РМО*, 5, 63–75.

### REFERENCES

Akimov V.M., Orlovsky V.V., Alyoshin V.V., Ivakin A.I., Levshuk A.E. (1985) Results of prospecting and exploration works at the Tigrinoe deposit (Primorye). Roshchino, Tayozhnaya GRE, 270 p. (in Russian).

Alekseev V.I., Marin Y.B., Gavrilenko V.V. (2019) Rare-metal mineralization of Sn occurrences in the area of Li-F granites, Verkhneurmiysky ore cluster, Amur region. *Russian Journal of Pacific Geology*, 13(2), 120–131. https:// doi.org/10.1134/S1819714019020027

Banshchikova T.S., Kryukova G.V. (1988) Typomorphic features of minerals of the Pravy Urmiy deposit (Amur region). *Mineralogiya mestorozhdeniy Dal'nego Vostoka (Mineralogy of Deposits of the Far East)*. Vladivostok, DVO AN SSSR, 50–57. (in Russian).

Bogdanov V.I., Kokorin A.M., Korostelev V.G. et al. (1979) Composition and formation conditions of the Pravy Urmiy Sn-bearing zone. *Mineralogiya i geokhimiya olovorudnykh mestorozhdeniy (Mineralogy and Geochemistry of Tin Deposits)*. Vladivostok, DVNTs AN SSSR, 36–51. (in Russian).

Gaev I.A., Gaeva N.M. (1959) Unpublished report on geological results of works carried out by the Tatibe party in 1957–1958 in the basin of the Tatibe River and at the Tigrinoe W-Sn deposit. Roshchino, Iman GSE, 202 p. (in Russian).

Gonevchuk V.G., Korostelev P.G., Semenyak B.I. (2005) Genesis of the Tigrinoe tin deposit (Russia). *Geology of Ore Deposits*, 47(3), 223–237.

Gvozdev V.I., Korostelev P.G., Ignatiev et al. (1990) Mineral assemblages and genesis of ores of the Zabytoe deposit (Primorye). *Mineral 'nye assotsiatsii olova i volframa na Dal'nem Vostoke (Mineral Assemblages of Sn and W Deposits of the Far East)*. Vladivostok, DVO AN SSSR, 3–16. (in Russian).

Ivakin A.N., Levshuk A.E., Orlovskiy V.V., Akimov V.N. (1985) Tin-tungsten porphyry mineralization in Primorye. *Razvedka i okhrana nedr (Exploration and Protection of Mineral Resources)*, 8, 22–26. (in Russian).

Itsikson G.V., Rundqvist D.V., Pavlova I.G., Shcherbinin E.S., Ognyanov N.V., Feklovich O.P., Shishkanova O.F., Popkova M.I. (1959) Tin-tungsten deposits of Maly Hingan. *Trudy VSEGEI (Proceedings of VSEGEI)*, 27, 344 p. (in Russian).

Korostelev P.G., Gonevchuk V.G., Gonevchuk G.A., et al. (1990) Mineral assemblages of a greisen Sn-W deposit (Primorye). *Mineral'nye assotsiatsii olova i volframa na Dal'nem Vostoke (Mineral Assemblages of Sn and W Deposits of the Far East)*. Vladivostok, 17–61. (in Russian).

Kosovets Yu.G., Stavrov O.D. (1983) *Local spectral analysis in geology*. Moscow, Nedra, 103 p. (in Russian).

Kryukov V.G., Nikulin N.N., Grushkin N.N. (1988) Composition and zonation of wall-rock metasomatites of the Karadub ore field. *Mineralogiya mestorozhdeniy Dal'nego Vostoka (Mineralogy of Deposits of the Far East)*. Vladivostok, DVNTs AN SSSR, 28–40. (in Russian).

Larioshkin A.K., Orlovsky V.V., Akimov V.N., Kolotova T.A. (1990) Unpublished materials for feasibility study of permanent conditions based on results of detailed exploration of the Tigrinoe deposit. Roshchino, Taezhnaya GRE, vol. 1, 178 p. (in Russian).

Materikov M.P., Shatskaya V.T. (1958) *Geology of tin deposits of the Armu-Iman district in Primorye*. Moscow, VIMS, 120 p. (in Russian).

Pogrebs N.A. (1993) *Mineralogy and genesis of* ores of the Pravy Urmiy tin deposit. (Abstract of Candidate dissertation). St. Petersburg, 21 p. (in Russian).

Popov V.A., Popova V.I. (1992) Methodology and results of mineralogical mapping of the Tigrinoe tungstentin deposit (Primorye). Yekaterinburg, Nauka, 92 p. (in Russian).

Popov V.A., Popova V.I. (1993) *Mineralogy of ores of the Ust-Mikulinskoe tin-tungsten deposit (Primorye)*. Miass, IMin UrO RAN, 77 p. (in Russian).

Popov V.A., Popova V.I., Vinogradova L.G. (1992) Mineralogy of the Zabytoe rare metal deposit (Primorye). Miass, IMin UrO RAN, 65 p. (in Russian).

Popova V.I. (1980) Mineralogy of ores of the Berezovoe tin deposit. *Mineralogicheskie issledovaniya gidrotermalitov Urala (Mineralogical Studies of Hydrothermalites of the Urals)*. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 82–93. (in Russian).

Popova V.I., Bazhenova L.F. (1976) The first finding of fluorocerite in the Far East. Mineraly i paragenezisy mineralov gornykh porod (Minerals and Mineral Parageneses of Rocks). Leningrad, Nauka, 135–139. (in Russian).

Popova V.I., Popov V.A., Dolgopyat L.G. (1988) Methodology and results of study of the composition and distribution of wolframite in the Tigrinoe deposit in Primorye. *Mineralogiya mestorozhdeniy Dal'nego Vostoka* (*Mineralogy of Deposits of the Far East*). Vladivostok, DVNTs AN SSSR, 40–50. (in Russian).

Popova V.I., Popov V.A., Korostelev P.G., Orlovsky V.V. (2013) *Mineralogy of ores from the Tigrinoe W-Sn deposit in Sikhote-Alin and prospects for its exploitation*. Yekaterinburg, RIO UrO RAN, 132 p. (in Russian). Popova V.I., Sinyakov E.Ya. (1978) Mineralogical mapping of the deposits (on example of the Khingan tin deposit). *Materialy k mineralogii Yuzhnogo Urala (Materials for Mineralogy of the Southern Urals)*. Sverdlovsk, UNTs UrO RAN, 30–42. (in Russian).

Popova V.I., Timoshin V.T. (1987) On zonal-sectoral distribution of stable Sn isotopes in cassiterite from the placer of the Merek River (Khabarovsk krai). *Mineralogiya rudnykh rayonov Dal'nego Vostoka (Mineralogy of Ore Regions of the Far East)*. Vladivostok, DVO AN SSSR, 52–58. (in Russian).

Semenyak B.I., Rodionov S.M., Gonevchuk V.G., Korostelev P.G., Kokorin A.M. (2006). Pravy Urmiy deposit. *Geodinamika, magmatism i metallogeniya Vostoka Rossii (Geodynamics, Magmatism, and Metallogeny of East Russia)*. Vladivostok, Dalnauka, 20 p. (in Russian).

Shnaider A.A. (2011) Wolframites of the Tigrinoe Sn-W deposit (Primorye). *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 5, 63–75. (in Russian)

Sinyakov E.Ya. (1975) Breccia zones of the Khingan deposit and some issues of their genesis. *Geologiya i geofizika (Geology and Geophysics)*, 6, 95–101. (in Russian).

Stepnova Yu.A. (2013) Genesis and fluid regime of formation of ore-magmatic system of the Shibanovsky ore cluster. (Abstract of Candidate dissertation). Vladivostok, 30 p. (in Russian).

### Информация об авторах

В.И. Попова – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., Россия, popov@mineralogy.ru

В.А. Попов – доктор геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., Россия, popov@mineralogy.ru

И.А. Блинов – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., Россия, ivan\_a\_blinov@mail.ru

### Information about the authors

V.I. Popova – Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Scientific Researcher, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, Russia, popov@mineralogy.ru

V.A. Popov – Doctor of Geological-Mineralogical Sciences, Scientific Researcher, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, Russia, popov@mineralogy.ru

Ivan A. Blinov – Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Scientific Researcher, South Urals Federal Scientific Center of Mineralogy and Geoecology, Urals Branch, Russian Academy of Sciences, ivan\_a\_blinov@mail.ru