

УДК:553.497.2

**С.К. Мустафин<sup>1</sup>, Г.С. Анисимова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа,

<sup>2</sup>Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,  
г. Якутск

## КОМПЛЕКСНОЕ ЗОЛОТОСУРЬМЯНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ТЕРРЕЙНОВЫХ СТРУКТУР АЗИИ

Обобщены и структурированы основные результаты исследований базовых минералогических аспектов формирования, локализации, вещественного состава комплексного Au-Sb оруденения. Результаты изучения минерагенической эволюции Au-Sb объектов ряда террейновых структур Азии рекомендуются для прогноза и оценки.

*Ключевые слова:* сурьма, золото, состав руд, месторождение, террейн.

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2023.173**

Завершившийся 2022 год был объявлен Международной минералогической ассоциацией (ИМА) Годом минералогии. Отмечались значимость минералогии как фундаментальной науки, а также её прикладные аспекты, важные для использования в повседневной жизни.

Год Mineralogy 2022 прошел под патронажем Международного года фундаментальной науки в интересах устойчивого развития, одобренного ЮНЕСКО, что послужило дополнительным импульсом для динамично развивающихся в настоящее время органично связанных между собой теоретического и прикладного направлений минералогии.

В данном сообщении обобщены и структурированы основные результаты исследований базовых минералогических аспектов формирования, локализации и вещественного состава комплексного Au-Sb оруденения завершающих герцинскую и киммерийскую минерагеническую эволюцию ряда террейновых структур Азии.

Настоящее сообщение посвящается светлой памяти известных исследователей региональной минерагении комплексного золото—сурьмяного оруденения – доктора геолого-минералогических наук, профессора, академика РАЕН, Почетного разведчика недр, заслуженного работника геологической службы Киргизской ССР; лауреата премии Союза научных работников Болгарии Виктора Парфентьевича Федорчука и

доктора геолого-минералогических наук Заслуженного ветерана СО АН СССР Владимира Алексеевича Амузинского.

Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, выделяет сурьму (Sb), наряду с нефтью, Pb, Au, Ag, алмазами, Zn, особо чистым кварцевым сырьем во вторую группу полезных ископаемых недр РФ, достигнутый уровень добычи, которых возможно удержать в период после 2035 года [15].

По данным Геологической службы США (USGS), мировые запасы Sb на конец 2020 года насчитывали 1,9 млн т, а добыча составила – 130 тыс. т [6]. Состояние добычи и величины запасов Sb в ведущих странах-производителя металла в Азии приведены в таблице.

Таблица

*Добыча и запасы Sb (т) в основных странах производителях металла в Азии в 2021г. [18]*

Страна-производитель	Добыча 2021 г. (т)	Запасы (т)
Китай	60 000	480 000
Россия	25 000	350 000
Киргизстан	-	260 000
Таджикистан	13 000	50 000
Казахстан	100	Н.д.
Турция	1300	100 000
Иран	400	Н.д.
Пакистан	20	26000
Бирма	2 000	140 000
Вьетнам	400	Н.д.
Всего в мире	110 000	2 000 000

Минерагенический анализ комплексного по составу золото-сурьмяного оруденения (ЗСО) проведён на основе анализа и обобщения результатов современных методов комплексного исследования минерального сырья с целью оптимизации прогнозирования, оценки перспектив коммерческой значимости и рационального освоения.

Китай с запасами 480 тыс. т, добычей первичного сырья на уровне 80- 89 тыс. т в год и импортом 55–60 тыс. т в год, является крупнейшим игроком мирового рынка Sb. Разнотипные комплексные Au-Sb месторождения широко развиты в террейнах Китая.

Столкновение террейнов кратона Янцзы и блока Катайзия в среднем-позднем протерозое привело к формированию орогенных

отложений Цзяннань с месторождениями Au-Sb-W типа (Вокси (Woxi) (рис.1) [20].

В провинции Хунань известно более 100 месторождений с суммарными запасами:  $WO_3$  - 0,25 млн т; Sb - 1,67 млн т; Au - 42 т. Средние содержания в рудах объектов в формации Мадийи:  $WO_3$  (0,2-0,8 %); Sb (2-6 %) и Au (5-10 г/т). В 2010 г. было произведено 40 тыс. т рафинированной и оксидной Sb,  $WO_3$  - 5 тыс. т, Au - 2 т. Продуктивны гидротермальные жилы с антимонитом ( $Sb_2S_3$ ), шеелитом ( $CaWO_4$ ) и высокопробным (998,6-1000) Au. Флюидные включения в шеелите содержат повышенные концентрации золота [21].

Гималайская орогенная система, создана коллизией Индии с Азией в начале раннего кайнозоя. Южный Тибетский Au-Sb металлогенический пояс, представляет ороген к югу от шва Инд-Цангпо (ITS), отделяющего террейн Лхасы от Гималаев (рис. 2).

Пояс включает более 50 жильных месторождений, содержащих Au, антимонит и связанные с ними россыпи золота. Месторождение Мажала с ресурсами Sb - 10000 т; и Au - 5т локализуется в толще сланцев, песчаников, известняков ( $J_1$ ). Жилы протяжённостью 10 - 400 м и мощностью 2,5 м содержат самородное золото, антимонит, пирит, марказит, арсенопирит, гидроксиды железа и немного киновари. Самородное золото высокопробное 982-990 размерами 0,01-2,0 мм в кварце и тонкими включениями в сульфидях.

С песчаниками, известняками, аргиллитами формации Дуодзюи ( $K_1$ ) связано месторождение Шалаганг с ресурсами Sb от 10 тыс. т до

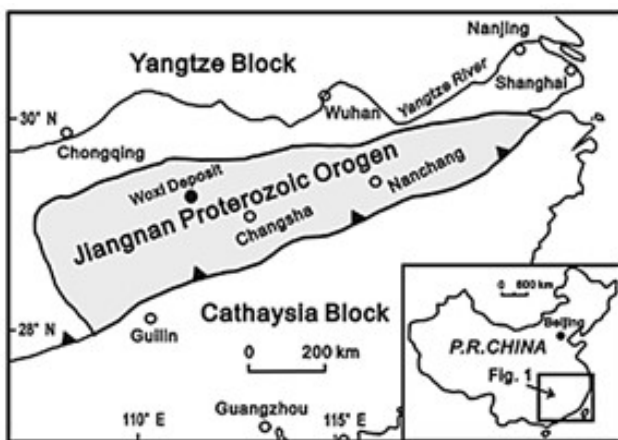


Рис. 1. Тектоническая карта Южного Китая с указанием месторождения Вокси (с изменениями из Gu et al., 2007) [20]

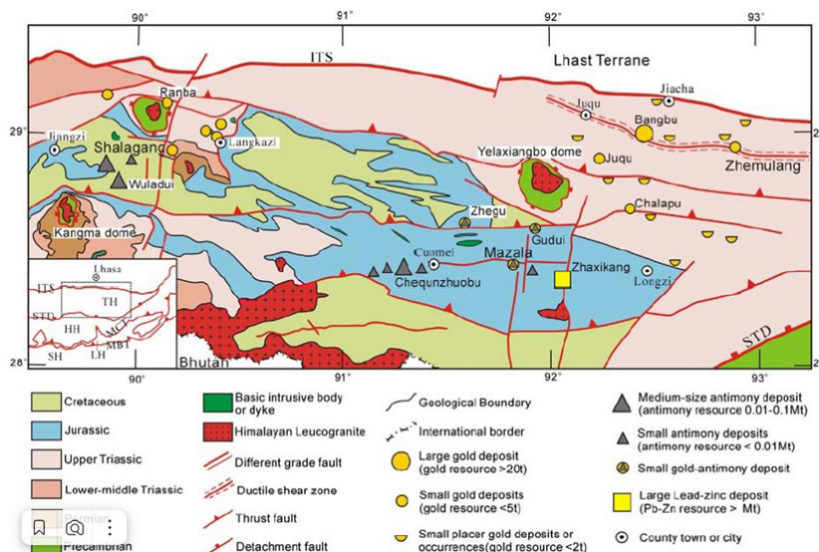


Рис. 2. Геологическая карта Южно-Тибетского золото-сурьмяного металлогенического пояса. [19]

100 тыс. т. В 12 рудных жилах длиной 40–350 м и мощностью 0,5–3 м содержится 1,98 - 29,0% Sb. Рудные минералы: антимонит, киноварь, валентинит, гидроксиды железа, пирит, арсенопирит и реальгар [19].

Геотектоническая структура Чаткальского террейна с разнотипными промышленными Au-Sb месторождениями джаспероидного (подэкранного стратифицированного) и жильного (секущего) морфологических типов сформировалась в процессе геодинамической эволюции Срединного Тянь-Шаня в составе глобального Центрально-Азиатского складчатого пояса [15] (рис. 3).

В пределах Чаткальской минерагенической области (Чаткальский террейн) в позднем палеозое получили развитие все известные на сегодня минеральные и структурные типы золото-сурьмяного оруденения от жильного самородно-сурьмяного до джаспероидного и так называемого «невадийского» или тренда Карлин.

Компания «Чаарат Заав» поставила на госбаланс около 100 тонн запасов золота категории C1+C2, плюс еще почти столько же прогнозных ресурсов. Chaarat оценил разработку одноименного месторождения в \$650 млн.

В геологическом строении месторождения Чаарат принимают участие кремни, доломиты, известняки  $\text{Є}_{1-3}$ ; песчаники с прослоями кремней, алевролитов  $\text{O}_1$ ; кварцевые песчаники  $\text{O}_{2-3}$ . Терригенные

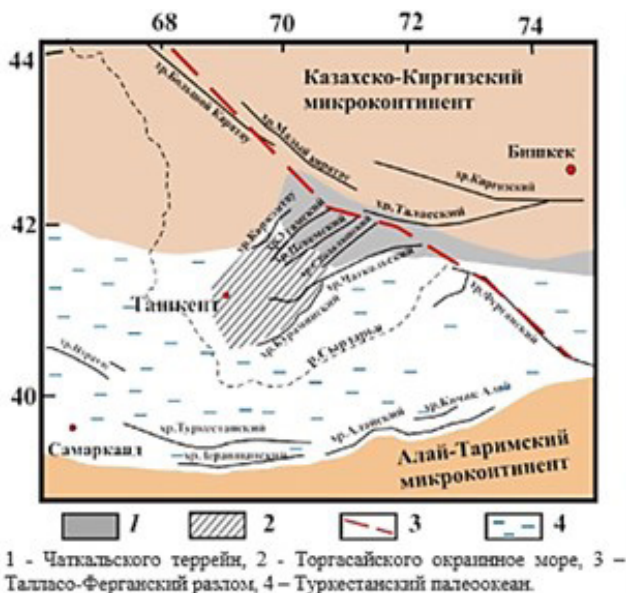


Рис. 3. Схема расположения Чаткальского террейна и Торгасайского окраинного моря в современных координатах [12]

породы в зонах разломов, подвержены дроблению, аргиллизации, березитизации. В пределах Чаарат–Караторского рудного поля выделяются 7 золоторудных объектов. Выделяются три главных и ряд мелких жильных тел. Рудные золотосульфидно-кварцевые жилы, жильно-прожилковые пластообразные золоторудные тела протяжённостью 2,7–4,9 км и мощностью 6,9–8–12 м. Содержание Au в минерализованных зонах 0,5–3,0 г/т, в рудных телах 1,0–18,0 г/т.

Au-Sb руды Чаарата содержат до 9,6% сурьмы и 0,7–10,82% мышьяка, представленного игольчатым золотоносным арсенопиритом.

Главные рудные минералы месторождения: золото, стибнит, арсенопирит, пирит; второстепенные: самородная сурьма, самородное золото, блеклые руды, буланжерит, халькопирит, пирротин, скородит, марказит, галенит, сфалерит, шеелит. Нерудные минералы: кварц, серицит, полевой шпат, кальцит. Игольчатый арсенопирит отличается: дефицитом As и избытком S; зональностью строения кристаллов как результатом пульсационного характера рудоотложения, аномально высокой золотоносностью.

Бактериальным выщелачиванием достигнуто сквозное извлечение Au 94%; PGE при этом не учитывались. В рудах месторождения

Чаарат, впервые в составе комплексного ЗСО Среднеазиатской сурьмянорудной провинции (ССП) установлены антимонит-гюбнеритовые руды, сходные с Боливийской провинцией.

Периферические зоны зёрен гюбнерита обогащены железом (FeO – 4,07-5,17; MnO – 21,18-17,90; WO – 74,76-76,93) по сравнению с центром (FeO – 1 54-1,7; MnO – 24,11-23,20; WO – 74,25-75,10) (рис.4).

В ассоциации с электрумом установлен селенсодержащий сульфид золота переменного состава (мас. %): Au – 32,47-41,52; Ag – 46,32-58,59; S – 7,24-9,68; Se – 0,55-2,14 близкая по составу к ютенбогаардиту и петровскому. [16]. Ранее в рудах сурьмянорудных провинций мира

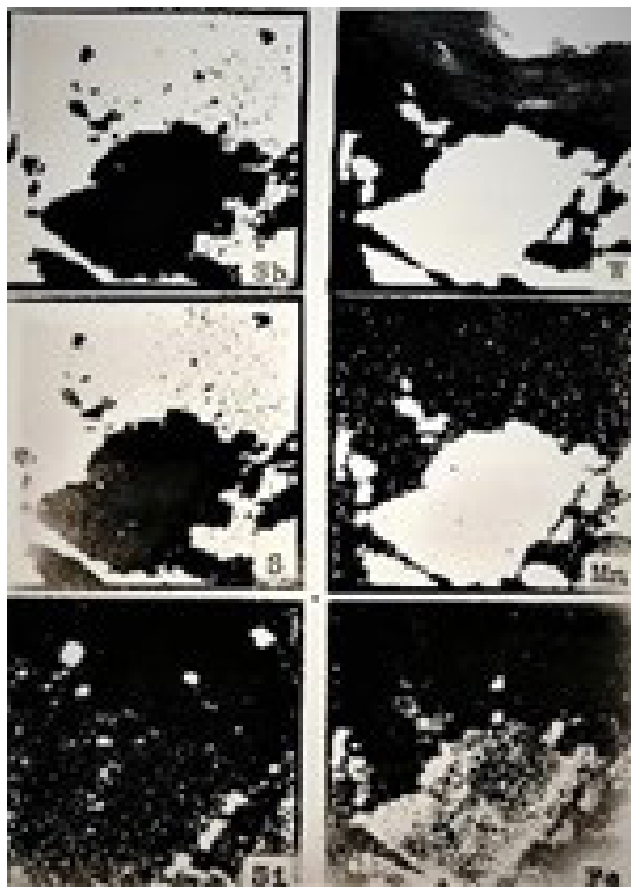


Рис. 4. Зональное распределение минералообразующих элементов в кристалле гюбнерита Au-Sb-W руды жил месторождения Чаарат [9]

сульфиды Au и Ag не отмечались.

Гидрометаллургическая щелочная или сульфидно-щелочная обработка руды позволили извлечь в раствор 88.1% сурьмы, 74.8–83.3% золота, до 86.8% серебра [9, 10].

Новыми и нетрадиционными для Центральной Азии являются месторождения: сурьяно-антимонитового (сходный с Сейняйоки, Финляндия, Балтийский щит), золото-антимонитового (сходный с Верхояно-Колымской провинцией), гюбнерит-антимонитового (сходный с Боливийской провинцией), золото-пиритового (сходный с Невадийской провинцией) типов.

Джаспероидный тип (Джалама) с Hg, As, Tl, ртутистым (2,5 мас.% Hg) золотом, к сожалению, не исследован как уникальный источник притока углеводородного газа из рудоносных горизонтов.

Объект представлен внутрiformационными залежами под экраном из сланцев и ангидритов в обогащённой Сорг. (0,2–3 %) терригенно-карбонатно-эвапоритовой толще девона и является своеобразной разновидностью месторождений тренда Карлин.

Для генетически связанных типов золото-сурьяных месторождений Чаткальского террейна установлены эволюционные ряды продуктивных парагенетических минеральных ассоциаций. Для джаспероидного типа: золото-пиритовая → золото-кварцевая → кварц-антимонитовая → золото-киноварная; для золото-сурьяного оруденения жильного типа: золото-пирит-арсенопиритовая → золото-пиротин-халькопиритовая → золото-кварцевая → кварц-джемсонитовая → золото-тетраэдритовая → кварц-сурьяная → золото-антимонитовая → гюбнерит-антимонитовая → золото-диккитовая. Промышленная ценность объектов ЗСО ССП может определяться как одной, так и сочетанием нескольких продуктивных парагенетических минеральной ассоциацией.

Индикатором реювениции для комплексного ЗСО ССП служат примеси PGE в главных рудных минералах. В антимоните концентрация Pt и Pd установлены на месторождении Кокпатас – (Узбекистан), Pd и Rh (Кончоч, Таджикистан), Os и Ru (Иштамберды, Кыргызстан). Для киновари в качестве типоморфных примесей из PGE отмечаются: Pd (Джалгыз, Узбекистан), Pt, Pd, Rh (Кончоч). В пирите установлены: Pt и Pd (Кокпатас), Os и Ru (Чаарат).

Для арсенопирита месторождения (Терек-Перевальное) установлены контрастные концентрации Os (1,5 г/т), Ru (2,3 г/т). Арсенопирит отличают: дефицит As и избыток S; зональность кристаллов как результат пульсационного характера рудоотложения, аномально высокая



золотоносность (752 г/т в среднем), примеси Se – 0,18–0,32 мас. %, Os (1,6 г/т) и Ru (2,3 г/т). Прямым цианированием арсенопиритового концентрата извлекалось не более 14% «упорного» золота, применение бактериального выщелачивания обеспечило высокое (94%) извлечение Au; PGE при этом не учитывались [9].

Особенности нахождения самородных Au и Sb в комплексных руд месторождений Чаткальского террейна иллюстрирует рис.5.

Зеравшано-Гиссарский рудный пояс как составная часть сложной горной системы Центрального Таджикистана, формировался в широком диапазоне геологического времени от конца раннего палеозоя до кайнозоя. Пояс включает многочисленные ртутные, сурьмяные,

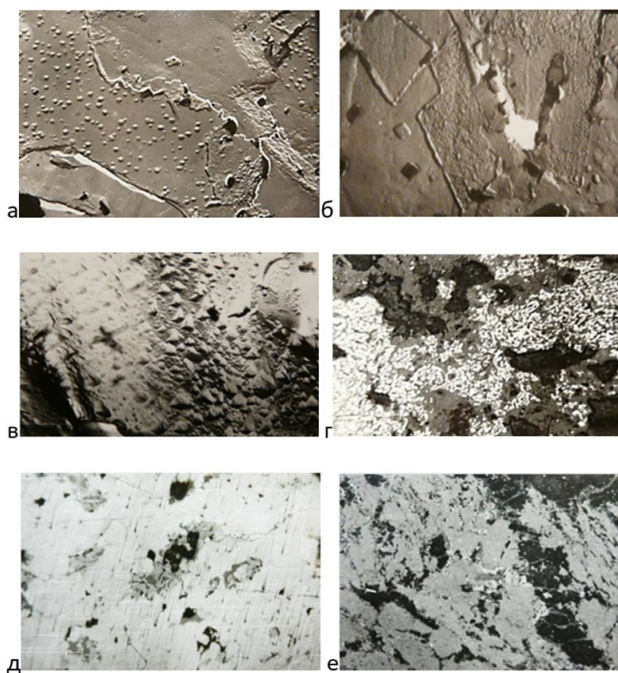


Рис. 5. Особенности выделения минералов золота и сурьмы на объектах Чаткальского террейна: а и б – вкрапленность и агрегаты тонкодисперсного самородного золота по зонам роста арсенопирита (РЭМ ув. 5000) (Терек, Перевальный); в – октаэдрические формы поверхности самородного золота свободного роста в кварцевых жилах (РЭМ ув. 2500) (Терек, Дальний); г - «губчатое» золото в валентините – продукт распада аурустибита (Ув. 500) (Иштамберды); самородная сурьма (белая) замещаемая антимонитом в процессе сульфуризации (д) (Терек, Перевальный) и образованная за счёт метаморфизма «чугунной» антимонитовой руды (е) (Иштамберды) (ув. 100) [10]



сурьмяно-ртутные и  $Sb-Hg-AsPb-Zn-CaF_2-Au$  и сурьмусодержащие оловянные (с серебром, полиметаллами и РЭ) месторождения (рис. 6).

Комплексные по составу минерального сырья объекты представлены тремя группами: 1) согласными пластообразными залежами на контакте карбонатных пород  $S_2-C_1$  со сланцами позднего палеозоя в роли экрана; 2) месторождениями секущего типа; 3) комплексными  $Sb-Hg-As-PbZn-CaF_2-Au$ - и сурьму содержащие редкометалльные месторождения сложной морфологии (рис. 6). [6]. На месторождении Джижикрут  $Au-Sb$  руды нижних горизонтов могут эффективно перерабатываться по комбинированной технологии позволяющей извлекать 83% золота [17].

Перспективы региона определяет месторождение Кончоч с комплексными рудами. Таджикская государственная алюминиевая компания TALCO и китайская Tibet Huayu Mining, с марта 2020 г. приступят к разработке ртутно-сурьмяного месторождения «Кончоч» в Согдийской области Таджикистана. Планирует ежегодно добывать порядка 15 тыс. т или 10% мирового рынка сурьмы и 2,2 т золота. Запасы месторождения Кончоч  $Au$  превышают 55 т,  $Ag$  — около 44 т,  $Hg$  - 184 т,  $Sb$  - 268 000 т,  $CaF_2$  - 205 000 т [6].

Рудно-Алтайский, Колба-Нарымский и Западно-Колбинский террейны (Казахстан) образованы позднекарбово-пермской коллизией Казахстана-Байкальского и Сибирского континентов [5,8].

Примером месторождений типа  $Au-As-Sb$ -вкрапленных руд в минерализованных зонах в в терригенно-углеродистых отложениях раннего и среднего карбона является Бакырчик.

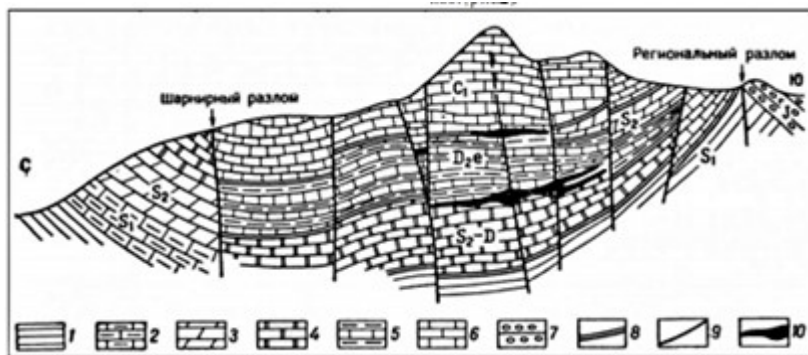


Рис. 6. Рудоносные брекчи месторождения Джижикрут: 1 – сланцы  $S_1$ , 2– известняки  $S_1$ , 3– доломиты  $S_2$ , 4 – известняки  $S_2-D_1$ ; 5–терригенно-карбонатно-кремнистые  $D$ , 6–известняки  $C_1$ , 7 – гравелиты  $J$ ; 8–надвиги, 9–разломы, 10–рудоносные брекчи [6]

Рудные тела пластообразной, линзообразной формы. Упорное золото концентрируется в сульфидах, преимущественно пирите и арсенопирите. Предполагается наличие золотосодержащих металлоорганических образований. 30 субсогласных рудных тел мощностью от 1 до 40 м и содержанием Au от 3,0 до 49,0 г/т прослежены по простиранию на 5,5 км и глубину до 1200 м. Полосчатые и массивно-вкрапленные руды представлены: пиритом, арсенопиритом, антимонитом, самородным золотом, марказитом, халькопиритом, пирротин, теннантитом), тетраэдритом, галенитом, сфалеритом, киноварью, самородным серебром, кварцем, карбонатами.

Запасы золота Бакырчика составляют 25,2 % известных запасов металла Республики Казахстан [16]. Золото-полисульфидная ассоциация образована при 418-300°C, более поздняя сурьмяная при 280-200°C. Изотопный состав серы антимонита  $\delta^{34}\text{S} = -3.8 \pm 2.5\%$ , указывает на глубинный источник рудного вещества [8,16].

Восточно-Ангарский, Центрально-Ангарский и Исаковский террейны Енисейского края сложены мезо-неопротерозойскими метаморфизованными породами. Золоторудные сурьмосодержащие объекты локализуются в углеродисто-терригенных и карбонатно-терригенных отложениях сухопитской серии рифея. На месторождениях Олимпиадинское, Удережское, Ведугинское сурьмяная минерализация достигает промышленных масштабов и образована после продуктивной золото-сульфидной; установлена тесная связь Au с As. На Восточной Олимпиаде в сульфидных рудах содержания Au варьируют от 0,2 до 165,4 г/т. Au-Sb ассоциация содержит незначительную примесь арсенопирита [12]. Вертикальный размах оруденения превышает 1400 м. Запасы золота составляют при содержании 5,55 г/т 441,6 т. В рудах установлены: сульфоарсениды, стибниды, сульфосоли, сульфостибниды, теллуриды и самородные металлы; преобладают - пирротин, арсенопирит, стибнит, пирит. Отмечаются аурустибит и сурьма самородная. Содержание мантийного гелия ( $^3\text{He}$ ), во флюидах сурьмосодержащих ассоциаций равно 0.25%, указывает на его коровый источник рудного вещества. Сульфидная сера арсенопирита и пирротина обогащена тяжелым изотопом  $\delta^{34}\text{S}$  в интервале 1.5 - 13%, для антимонита, пирита и сфалерита -  $\delta^{34}\text{S}$  соответственно 4.8 - 10.4%. Концентрация во флюидах элементов платиновой группы (platinum group elements (PGE) (~90 ppb) и Re, указывает на их сложную природу [14].

Полистадийный гидротермальный процесс формирования руд происходил в интервале 460-110°C. Возраст главных стадий рудообразования 817-660 млн лет. Промышленные золото-мышьяковые руды

имеют возраст 758-803 млн лет, более поздние - золото-мышьяк-сурьмяные - 660-795 млн лет. Изотопно-геохимические исследования свидетельствуют об участии в образовании месторождения корового и мантийного вещества [7,13].

Месторождение Олимпиада Енисейского кряжа отнесено к субдукционно-коллизонному типу в складчатых поясах.

Вертикальный размах оруденения превышает 1400 м. На долю Восточной Олимпиады приходится около 90 % всех запасов золота. В сульфидных рудах содержания золота по рудным пересечениям варьируют от 0,2 до 165,4 г/т. В Южном блоке преобладает Au-Sb ассоциация с примесью арсенопирита [13, 14 (рис. 7)].

Недра Республике Саха (Якутия) далее (РС (Я)) составляют основу сырьевой базы Sb РФ, и представлены 6 месторождениями с общими запасами Sb 129750 т (40,62% от запасов РФ) [11].

Объекты контролируются зоной регионального Адыча-Тарынского разлома, разделяющего Кулар-Нерский террейн и западную часть Верхоянского складчато-надвигового пояса. Наиболее крупные разрабатываемые объекты РС(Я) - Сентачан (17,9 % от запасов РФ) и Сарылах 4,82% от запасов РФ) на которых в 2021 было добыто более 7497 т Sb [11].

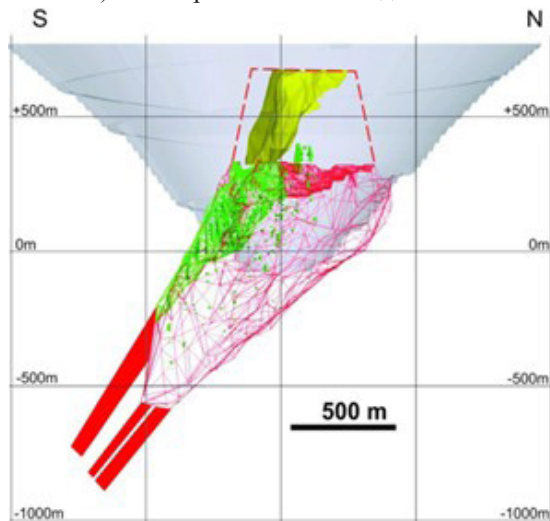


Рис. 7. Восточная Олимпиада: желтым – окисленные руды (отработаны); зеленым – Sb > 0,4 %; красным (каркас) – рудные тела по борту Au +0,75 г/т; красным (заливка) – рудные тела по данным глубокого бурения по борту +3 г/т; красным (пунктир) – контур отработанных на 01.01.2018 запасов; серым – контур проектной открытой отработки [14]

Золото-сурьмяное месторождение Сарылах приурочено к минерализованной зоне дробления в толще песчаников и алевролитов с прослоями глинистых сланцев триаса. Представлено кварц-антимонитовой жилой неоднородного строения с тяготеющими к висящему боку массивными мелкокристаллическими сурьмяными рудами. Установлено зональное повышение с глубиной и к флангам рудных тел железистости, мышьяковистости и медистости руд [1,3,4].

Рудам месторождения свойственно разнообразие структурно-морфологических типов выделений самородного золота. Наряду с массивным часто встречается губчатое и «горчичное» золото (рис.8).

Проведенное топоминералогическое картирование золота в пределах рудного тела №1 выявили преобладание на верхних горизонтах весьма высокопробное золото.(рис.9) На флангах и трех участках в центральной части рудного тела проба золота снижается до 967, а в отдельных золотилах - до 789 и даже до 623. С глубиной участки с пониженной

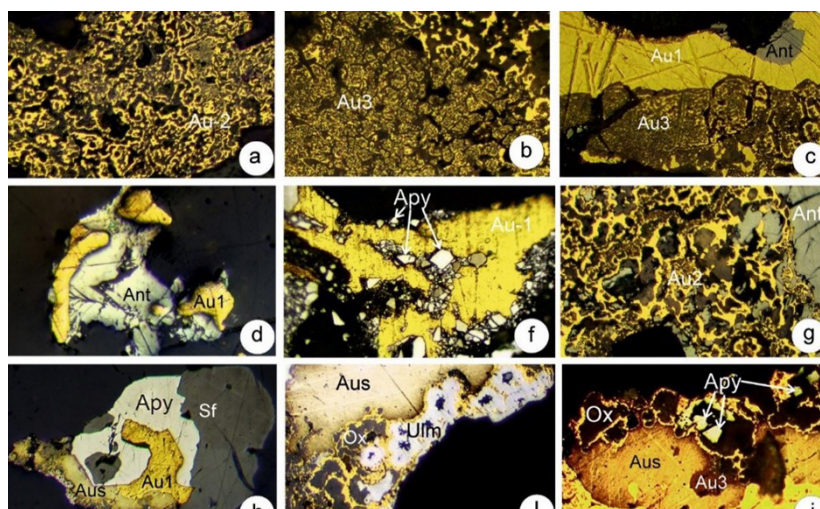


Рис. 8. Минеральные сростания разновидностей самородного золота из руд золото-сурьмяного промышленного типа Сарылахского месторождения: а – губчатое золото (Au2) с оксидами сурьмы (Ox); б – губчатое золото с горчичным (Au3); в – горчичное золото (Au3) с массивным (Au1) и антимонитом (Ant); д – массивное золото (Au1) с антимонитом (Ant); е – массивное золото (Au1) с арсенипитом (Ars); ф – губчатое золото (Au2) с антимонитом (Ant); г – массивное золото (Au1) с арсенипитом (Ars), аурустибитом (Aus) и сфалеритом (Sf); h – губчатое золото (Au2) с аурустибитом (Aus), ульманитом (Ulm) и оксидами сурьмы (Ox); I – массивное (Au1) и горчичное золото (Au3) с аурустибитом (Aus), арсенипитом (Ars) и оксидами сурьмы (Ox)

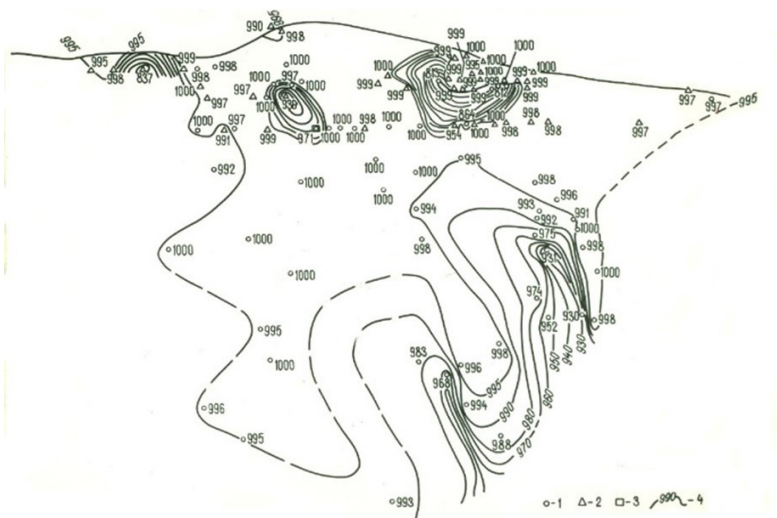


Рис. 9. Распределение самородного золота разной пробы в плоскости рудного тела 1 Сарулахского месторождения (по данным Г.С.Анисимовой (Амузинский и др., 2001) [1])

пробой золота расширяются, и на самых глубоких горизонтах значительная часть площади рудного тела характеризуется пробой менее 985. Золото с пробой 995-1000 распространено в рудном теле в виде трех полос, совпадающих с положением золото-антимонитовых столбов, сходящихся к северо-западу [1].

Результаты топоминералогических исследований самородного золота позволят оптимизировать прогноз, оценку и выбор эффективную технологию рационального освоения минерального сырья [1].

Золото-сурьмяное комплексное оруденение проявляется в структурах террейнов в широком диапазоне геологического времени.

Если ранее основные мировые ресурсы сурьмы заключались в объектах джаспероидного типа, то в последнее время обозначилась тенденция повышения практической значимости объектов жильного типа в терригенных, нередко углеродистых толщах, обладающих в целом большей контрастностью оруденения, особенно в части золотоносности. Для группы жильных месторождений чаще свойственна комплексность оруденения, выражающаяся в промышленных содержаниях W, Hg и PGE [10].

Au-Sb оруденение джаспероидного и жильного типов, вероятнее всего имеет общие генетические черты, отчётливую направленность эволюции, последовательность формирования минеральных типов,

приоритет глубинных источников рудного вещества, формирование и приуроченность к динамичным, сложным по ходу эволюции участкам литосферы с отчётливо проявленными элементами тектонической расчлененности. Подтверждением этих положений может служить проблема прогнозирования, поисков и оценки комплексного оруденения тренда Карлин, сочетающего в себе признаки как джаспероидных так и жильных типов месторождений с Au, Sb, Hg, Tl и другими компонентами (включая и скопления углеводородов).

Данные минералогических, термобарометрических и изотопно-геохимических исследований свидетельствуют о сложной и длительной истории формирования месторождений. Месторождения в структурах террейна рассматриваются как полихронные и полигенные [1,3,4,10].

В заключении отметим, что комплексные золото-сурьмяные месторождения террейновых областей складчатых сооружений Азии обладают крупными запасами как по сурьме, так и по золоту.

Для комплексных золото-сурьмяных месторождений свойственна сложная структура, значительный вертикальный размах, проявление сложной зональности рудоотложения - латеральной в жильных телах, вертикальной в стратифицированных телах джаспероидов, а также сложной совмещённой.

Учитывая расширение спектра современных аналитических методов исследования минерального сырья, а также прогресс в разработке новых и совершенствовании традиционных технологий его переработки, сегодня особую актуальность приобретает необходимость формирование региональных банков минералогических данных [10].

*Статья подготовлена по плану НИР Уфимского университета науки и технологий и Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, проект № 0381-2019-0004.*

#### *Библиографический список*

1. Анисимова Г.С. Полимнеральное включение, отражающее весь минералогический состав Сарылахского рудного месторождения. Записки РМО. 2005, нет. 5, стр. 87-94.
2. Анисимова Г.С., Мустафин С.К. Сурьма: Сырьевая база, новые перспективные типы и качества полиметаллических руд. В сб. «Геология и полезные ископаемые Северо-Востока России». Т.2. – Якутск: Изд-во СВФУ, 2019. – С. 16-18.
3. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Прокопьев А.В. Сарылахское и Сентачанское золото-сурьмяные месторождения, Саха-Якутия: пример сочетания мезотермальных золото-кварцевых и эпitherмальных антимонитовых руд. Геология рудных месторождений. 2010, том. 52, стр. 339–372.
4. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Прокопьев А.В. Золото-сурьмяные месторождения Сарылах и Сентачан (Саха-Якутия): пример совмещения мезотермальных золото-кварцевых и эпitherмальных антимонитовых руд//Геология рудных месторождений, 2010, том 52, № 5, с. 381–417.



5. *Буслов М.М.* Динамика и кинематика крупных разломных зон Восточно-Казахстанской складчатой области в позднем карбоне-перми. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2006, вып. 4, стр. 112-125.
6. *Вазиров К.В., Малахов Ф.А.* О роли метасоматитов в формировании сурьмяно-ртутных и комплексных сурьмяных месторождений Зеравшано-Гиссарского рудного пояса (Южный Тянь-Шань). Материалы XIX Всероссийской научной конференции «Уральская минералогическая школа 2013».. Екатеринбург: Изд. ИГГ УрО РАН, 2013. с. 28-33.
7. *Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М. и другие.* Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский краж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов, сульфиды  $\delta^{34}\text{S}$ , флюиды  $3\text{He}/4\text{He}$ ,  $\text{Ar}-\text{Ar}$  возраст и продолжительность образования. Геология и геофизика. 2019. № 9. - с. 1310-1329 гг.
8. *Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Наумов Е.А., Мягкая М.К.* Связь сурьмы с золотым оруденением в рудных районах Восточного Казахстана. Российская геология и геофизика 55 (2014) 1170–1182.
9. *Мустафин С.К.* Комплексное золото-сурьмяное оруденение: вариации состава и вопросы генезиса. Новые горизонты в изучении процессов магмообразования и рудообразования. Материалы научной конференции. Москва: Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН). 2010. - С. 438-439.).
10. *Мустафин С.К., Анисимова Г.С.* Комплексное золото-сурьмяное оруденение Азии: региональная минерагения, задачи прогнозирования и перспективы освоения. Актуальные проблемы геологии, геофизики, петрологии и рудообразования. Мат-лы научно-технич. конф., посвящ. 85-летию создания Института геологии и геофизики Академии наук Республики Узбекистан и 110- летию со дня рождения академика Х.М. Абдуллаева. – Ташкент: Издательство ООО «Lesson Press», 2022. – Т. 1. – С. 229-234.
11. «О состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) по состоянию на 15.06.2022 г.», Справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2022 №049-00018-22-01. – 18 с.
12. *Садькова Л.Р.* Геодинамические обстановки и медное оруденение Среднего Тянь-Шаня.04.00.01 Автореферат диссертации доктора геол.-мин. наук. Ташкент: ИГ и Г АН Республики Узбекистан, 2016. – 23 с.
13. *Сазонов А.М., Звягина Е.А., Сильянов С.А. и другие.* Рудогенез Олимпиадинского золоторудного месторождения (Енисейский краж, Россия). Геосферные исследования. 2019. № 1. - с. 17-43.
14. *Сильянов С.А.* Геология и минерально-геохимические индикаторы генезиса Олимпиадинского золоторудного месторождения (Енисейский краж). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Красноярск: Сибирский федеральный университет. 2020. 185 с.
15. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года/ Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. 2914 с. - 31 р.
16. *Умарбекова З.Т.* «Золоторудные процессы и прогнозные геологические данные по месторождениям Казахстана (Бакыршик, Бестобе, Архарлы)». 6D070600 - Геология и разведка месторождений полезных ископаемых Диссертация на соискание ученой степени доктора философских наук (PhD) Республика Казахстан Алматы: Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаев, 2020, 149 с.
17. *Холов Х, Самихов Ш.* Выщелачивание золота ацетилтиомочвиной из хвостов флотационного месторождения Джикикрут. Норвежский журнал развития международной науки. 2019, нет. 27, стр. 7-11.



18. Antimony. Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 2022, pp. 26-27.
19. *Wei Zhai, Xiaoming Suna, Jianzhou Yi, Xiangguo Zhang, Ruwei Mo, Feng Zhouc, Huixiao Wei, Qinggao Zeng.* Geology, geochemistry, and genesis of orogenic gold–antimony mineralization in the Himalayan Orogen, South Tibet, China. *Ore Geology Reviews* 58 (2014) 68–90.
20. *Xuexiang Gu, Oskar Schulz, FranzVavtar, Jianming Liu.* Rare earth element geochemistry of the Woxi W–Sb–Au deposit, Hunan Province, South China. *Ore Geology Reviews* Volume 31, Issues 1–4, April 2007, pp. 319-336
21. *Yi Liang, Guogang Wang, Shengyou Liu, Yuzhen Sun, Yonggang Huang and Kenichi Hoshino.* A Study on the Mineralization of the Woxi Au–Sb–W Deposit, Western Hunan, China. *Resource Geology* vol. 65, no. 1, pp. 27–38).

COMPLEX GOLD-ANTIMONY MINERALIZATION IN THE  
PROCESS OF MINERAGENIC EVOLUTION OF TERRANE  
STRUCTURES IN ASIA

**S.K. Mustafin, G.S. Anisimova**

*sabir.mustafin@yandex.ru*

The main results of studies of the basic mineralogical aspects of the formation, localization, and material composition of complex Au-Sb mineralization are summarized and structured. The results of studying the mineragenic evolution of Au-Sb objects in a number of terrane structures in Asia are recommended for prediction and evaluation.

*Keywords: antimony, gold, composition of ores, deposit, terrane.*