

Рудные брекчии – ключ к пониманию генезиса месторождений серебра и золота Западного Верхоянья

А.В. Костин

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия
kostin@diamond.ysn.ru*

Аннотация. *Описаны генезис и эволюция рудных брекчий главных серебряных и золотых месторождений Западного Верхоянья, которые отвечают наиболее богатым типам руд. На примерах взаимоотношений руд с интрузивными образованиями и между собой продемонстрированы длительность рудного процесса и неоднозначность современных датировок рудообразования, основанных только на определении времени кристаллизации магматических пород. Для этого в течение многолетних полевых исследований собиралась, фотодокументировалась и изучалась коллекция наиболее представительных рудных брекчий. Начало процесса рудообразования месторождения Вертикальное относится ко времени после кристаллизации Эндыбальского интрузива и роя даек и включает не менее четырех стадий. Кис-Кюельское месторождение относится к внутриинтрузивному типу, формирование которого сопряжено с застыванием и растрескиванием кровли диорит-гранодиоритового интрузива. Амальгамы серебра Хачакчанского месторождения образовались в разломах северо-восточного простирания, секущих складчатые структуры. Руды Эндыбальской рудной горы отложились в серии разноориентированных трещин и межпластовых зонах срывов. Мы предполагаем, что последние проявления активности зон рудоконтролирующих разломов относятся к кайнозойскому периоду, а длительный процесс рудоотложения в многостадийных брекчиях мог занимать интервал времени от 102–98 млн лет до начала палеогена.*

Ключевые слова: рудные брекчии, серебро, золото, Западное Верхоянье.

Благодарности. *Статья подготовлена при финансовой поддержке проекта НИР № 0381-2019-0004 Института геологии алмаза и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН.*

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-2

Ore breccias as a key to understanding the genesis of silver and gold deposits in Western Verkhoyanye

A.V. Kostin

*Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia
kostin@diamond.ysn.ru*

Abstract. *The genesis and evolution of ore breccias of the main silver and gold deposits in Western Verkhoyanye corresponding to the richest types of ores are described. The duration of the ore process and ambiguity of the modern dating of ore formation relying only on the determination of the crystallization time of igneous rocks are demonstrated by the examples of ore relationships with each other and with intrusive formations. For this purpose, during long-term field studies, a set of the most representative ore breccias was collected, photo-documented and studied. The start of ore formation at the Vertikalnoe deposit refers to the time after the crystallization of the Endybal intrusive and a cluster of dykes; it includes not less than four stages. The Kis-Kyuelskoe deposit belongs to the intra-intrusive type, its formation is associated with solidification and cracking of the roof of the diorite-granodiorite intrusive. Silver amalgams in the Khachakchanskoe deposit were formed in the faults stretching to the north-east, intersecting the folded*

structures. The ores of the Endybal ore mountain were deposited in a series of differently oriented cracks and interlayered zones of thrust faults. We assume that the last manifestations of activity in the zones of ore-controlling faults occurred in the Cenozoic, and the long-standing process of ore deposition in multi-stage breccias could take place since 102-98 million years till the beginning of the Paleogene.

Key words: ore breccia, silver, gold, Western Verkhoyanie.

Acknowledgements. The article was prepared with the financial support of research project No. 0381-2019-0004 of Diamond and Precious Metal Geology Institute (DPMGI) SB RAS.

Введение

В последние годы Западные Верхояны активно осваиваются недропользователями. По данным интерактивной электронной карты недропользователя РФ (<https://openmap.mineral.ru/>), основные лицензии площади включают месторождения серебра и золота: ЯКУ02613БП – Кимпиче (Ag), ЯКУ04454БП – Аркачан (Au), ЯКУ12692БП –

вателя РФ (<https://openmap.mineral.ru/>), основные лицензии площади включают месторождения серебра и золота: ЯКУ02613БП – Кимпиче (Ag), ЯКУ04454БП – Аркачан (Au), ЯКУ12692БП –

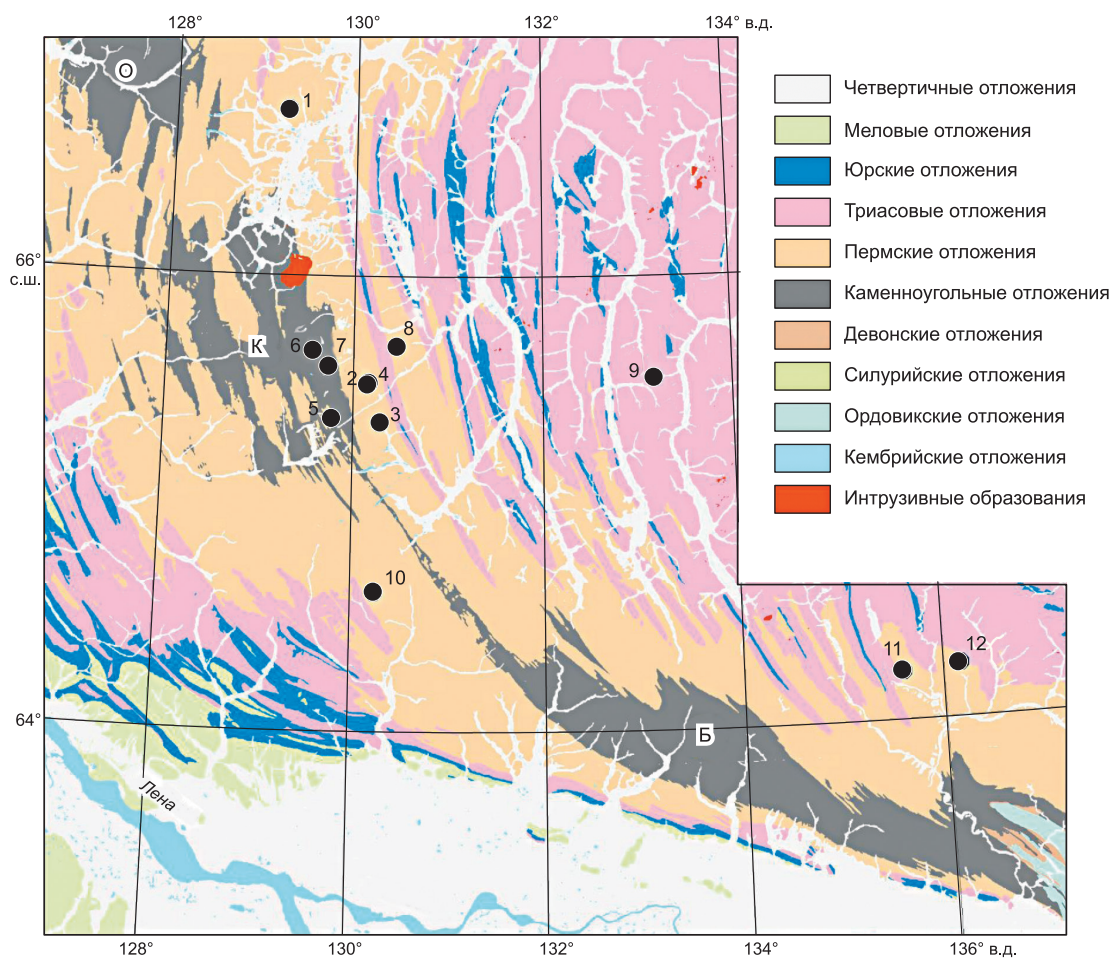


Рис. 1. Западно-Верхоянский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса с расположением главных месторождений серебра и золота (геологическая основа составлена и упрощена по картам м-ба 1:500 000 [1]).

Месторождения и перспективные площади: 1 – Кимпиче, 2 – Вертикальное, 3 – Кис-Кюельское, 4 – Эндыбальская рудная гора, 5 – Аркачанское, 6 – Чочимбальское, 7 – Ньюктаминская перспективная площадь (проявления Пентийум-1, Позолота, ГИС-1), 8 – Егор, 9 – Прогноз, 10 – Болбукское, 11 – Обоха, 12 – Хачакчанское. Буквами обозначены: О – Орулганский, К – Куранахский, Б – Бараинский антиклинорий; С – Сартангский синклиний.

Fig. 1. West-Verkhoyansk sector of the Verkhoyansk fold-thrust belt with the location of the main deposits of silver and gold (the geological basis is made and simplified according to the maps of 1:500 000 [1]).

Deposits and perspective areas: 1 – Kimpiche, 2 – Verticalnoye, 3 – Kis-Kuelsky, 4 – Endybal ore mountain, 5 – Arkachansky, 6 – Chochimbalsky, 7 – Nuektaminsky promising area (with manifestations Pentium-1, Pozolota, GIS-1), 8 – Egor, 9 – Prognoz, 10 – Balbucksky, 11 – Obokha, 12 – Khachakchansky. Letters on a white background: O – Orulgansky, K – Kuranakhsy, B – Barainsky anticlinoria; C – Sartansky synclinoria.

Эндыбальская площадь (Au, Ag), ЯКУ03626БЭ – Вертикальное (Ag), ЯКУ05504БП – Егор (Ag), ЯКУ05451БЭ – Чочимбал (Au), ЯКУ14002БЭ – Прогноз (Ag), Болбук (Pb, Ag) разведывалось Якутской горно-технической конторой в период с 1928 по 1932 г., ЯКУ03578БП – Обоха (Ag), ЯКУ05384БП – Хачакчан (Ag). Ньюктаминская перспективная площадь ЯКУ05782БП включает серию проявлений серебра и золота: Пентиум-1, Позолота, ГИС-1 и др. (рис. 1). Главный интерес недропользователей – руды высокого качества, которые при отработке способны обеспечить долговременный высокий экономический эффект. Этому критерию удовлетворяют рудные брекчии, с которыми обычно связываются богатые рудные столбы.

В практике разведки и изучения месторождений благородных металлов рудным брекчиям уделяется большое внимание. Многие жильные месторождения серебра Martha (Аргентина), Shah Zard (Иран), месторождения Центральных Анд и др. [2–5] сложены многостадийными брекчиями. В месторождениях IOCG-типа Carajás (Бразилия), Wernecke (Канада), Cloncurry и Olympic Dam (Австралия) и др. рудные брекчии являются главным типом руд [6–10]. Для серебро-ртутных месторождений Имистер и Конгсберг [11; 12] с рудными брекчиями ассоциируют ультрабогатые руды. Интерес вызван тем, что зоны брекчий существенно увеличивают мощности рудных тел, зачастую образуя крупные рудные штокверки. Брекчии выполняют различные тектонические нарушения, но наиболее широко представлены в зонах растяжения (сбросах и сбрососдвигах). В целом рудные брекчии свидетельствуют о формировании руд в условиях растяжения. Обычно для таких рудных тел характерно отсутствие метасоматического преобразования вмещающих пород, поэтому границы рудных тел уверенно определяются визуально, а не по результатам опробования.

Изучение автором месторождений серебра и золота Западного Верхоянья в течение длительного периода позволило выделить две главные разновидности рудных брекчий: в интрузивных породах и в зонах разломов. В статье приводятся примеры рудных брекчий, которые позволяют решить такую важную проблему, как эволюция рудного процесса во времени. С другой стороны, это представительные типы богатых серебряных и золотых руд, на основе которых можно создавать поисковые критерии. Рудные брекчии

месторождений Вертикальное и Кис-Кюельское показывают место рудного процесса относительно магматических событий. Руды Хачакчанского месторождения и Эндыбальской рудной горы демонстрируют размещение богатой минерализации в разных типах разрывных нарушений.

Брекчии и интрузивные породы

Месторождение Вертикальное

Эндыбальский серебрянорудный узел пока – единственный в Якутии, где началось производство серебра из руд месторождения Вертикальное (<https://www.silverbearresources.com/news-and-events/>). Рудный узел расположен в бассейне р. Эндыбал, левого притока р. Аркачан и включает Мангазейское, Ясное, Нижнеэндыбальское, Верхнеэндыбальское, Бурное, Безымянное, Мухалканское, Стержневое, Забытое, Вертикальное, Граничное, Семеновское, Привет и Жильное серебряные месторождения и рудопроявления. Образование месторождений тесным образом связано с длительной тектономагматической эволюцией рудного узла, геологическое строение и минералогия руд которого рассматривалась нами ранее [13, 14].

Магматические образования рудного узла представлены Эндыбальским субвулканом и роем даек, большая часть которых ориентирована в долготном направлении. Основной объем субвулканического тела сложен брекчиями с постепенными переходами в субвулканические кварцевые порфиры. От центра субвулканического тела к его контактам наблюдается смена кварцевых порфиров эксплозивными брекчиями, сложенными преимущественно обломками магматических пород и фельзитовым цементом с примесью обломков терригенных пород. Эксплозивные брекчии представляют собой пестро окрашенную породу и в зависимости от соотношения в ней обломков светлоокрашенных магматических и более темных терригенных пород, а также насыщенности цемента тонкой сульфидной вкрапленностью, цвет изменяется от белого до темно-серого. Завершающая стадия становления Эндыбальского субвулкана сопровождалась тектоническими подвижками, связанными с растяжением его апикальной части и образованием радиальных трещин отрыва. К одной из них приурочены дайка базальтового трахиандезита и наложенная на нее более поздняя минерализация рудной зоны Вертикальная [14]. В целом по химическому составу выделяются дайки риолитов, дацитов, андезитов,

базальтов, базальтовых трахиандезитов, трахитов-трахидацитов и тефритов-базанитов.

Связь магматизма и серебряного оруденения Эндыбальского рудного узла – один из наиболее спорных и до конца не решенных вопросов. Значительный вклад в понимание времени формирования магматических образований был сделан А.В. Прокопьевым, А.С. Борисенко, Г.Н. Гамяниным и др. [15]. Для гранит-порфиров Эндыбальского субвулкана методом U-Pb SHRIMP-II датирования цирконов ими был получен возраст кристаллизации 100,2±1,2 млн лет, а для даек гранит-порфиров левого борта р. Сирилендже – 102,9±1,4 млн лет. Датирование серицита из грей-

зенов Эндыбальского субвулкана с Au-Bi минерализацией и рудоносных метасоматитов $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом показало 98,4±1,2 и 98,2±1,1 млн лет соответственно. Таким образом, возраст досеребро-рудных магматических образований – 102–98 млн лет, что хорошо согласуется с возрастными, полученными ранее А.С. Борисенко и др. [16].

Главные черты месторождения Вертикальное: 1) пространственная ассоциация с высокошошоновым типом дайкового магматизма, окислительно-восстановительный индекс ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$) в области ильменитовой серии пород; 2) рудное тело линейной конфигурации приурочено к долгоживущей разломной структуре растяжения, в

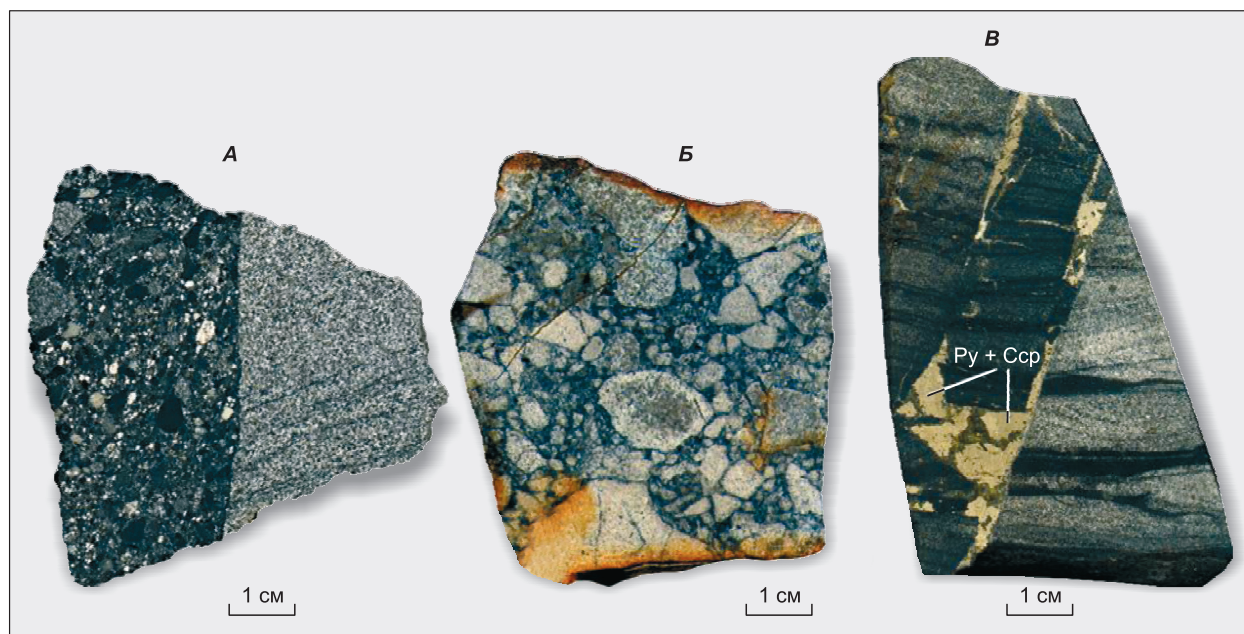


Рис. 2. Главные признаки рудных брекчий.

А – контакт брекчий и серых тонкослоистых песчаников (образец V07-001_96-5, коллекция автора). В обломочной части песчаники (серое), алевролиты (черное) и кварцевые порфиры (светлое). В цементе тонкая вкрапленность сульфидов. Во вмещающих песчаниках отмечается отсутствие каких-либо метасоматических преобразований. На контакте песчаников и брекчий отсутствуют крутопадающие зеркала скольжения с субгоризонтальными бороздами. **Б** – взрывная автомагматическая брекчия сложена округлыми и угловатыми обломками кварцевых порфиров. Цемент брекчии насыщен тонкой сульфидной вкрапленностью пирротина, пирита, халькопирита и блеклой руды (образец 5016-5, коллекция автора). **В** – первая стадия рудных брекчий месторождения Вертикальное: трещина отрыва со смещением слоев и пирит-халькопиритовым заполнением (образец V07_020_239, коллекция автора). Граница рудных брекчий отчетливая, во вмещающие породы рудная минерализация не проникает. Подобными структурными и минеральными типами руд сложены рудные тела Au-Cu месторождения Аркачан [17]. Py+Ccp – пирит-халькопиритовые сростания.

Fig. 2. Main features of ore breccia's.

A – contact breccias with grey thinly bedded sandstones (sample V07-001_96-5, collection of the author). The debris of the sandstone (gray), siltstone (black) and quartz-porphyr (light). The cement of the fine disseminated sulphides. No any alteration in the host sandstones is noted. Steeply dipping fault planes with sub-horizontal striations marking the lateral strike slip along the fault are absent. **B** – explosive auto-breccias is composed of rounded and angular fragments of quartz-porphyr. Breccia cement is saturated with fine sulphide inclusions of pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite and tetrahedrite (sample 5016-5, author's collection). **C** – the stage-I ore breccia of Verticalnoye deposit: fracture with pyrite-chalcopyrite infill shift layers (sample V07_020_239, collection of the author). The boundary of ore breccias is distinct; ore mineralization does not penetrate into the host rocks. Similar structural and mineral types of ores composes ore bodies of the Arkachan Au-Cu deposit [17]. Py+Ccp – pyrite-chalcopyrite intergrowths.

которую сначала внедрилась дайка базальтового трахиандезита. Рудное тело сформировалось после внедрения дайки в результате нескольких разделенных во времени этапов брекчирования; 3) в участках сбрососдвигов образуются многостадийные брекчии и богатые сереборудные столбы; 4) сереброносность руд увеличивается от ранних стадий брекчирования к поздним; 5) экономическая привлекательность руд: $Ag > 780$ г/т.

Рудные брекчии первого этапа (моложе 102–98 млн лет). Вмещающие Эндыбальский субвулкан песчаники кыгылтасской свиты S_3-P_1 катаклазированы вблизи контакта, повсеместно отмечается захват вмещающих пород эруптивной брекчией внешней зоны (рис. 2, А), брекчия внутренней зоны является автомагматической (рис. 2, Б). Контакт брекчий с вмещающими песчаниками характеризуется неровной поверхностью без признаков зеркал или борозд скольжения, что соответствует трещине отрыва. В темном тонкозернистом цементе брекчий присутствует рассеянная сульфидная минерализация, представленная пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и блеклой рудой. По данным микрозондового анализа, содержание Ag в блеклой руде меняется от 2,65 до 4,53 %, для пирита характерно наличие примеси Ni от 2,52 до 3,2 %, что позволяет отнести эту ассоциацию минералов к ранней высокотемпературной стадии рудообразования. Вмещающие песчаники вблизи зоны брекчий также характеризуются наличием трещин отрыва, по которым происходит смещение слоев и последующее выполнение трещин пиритом и халькопиритом (рис. 2, В).

Дайка андезитобазальтов, к которой приурочено рудное тело месторождения Вертикальное (рис. 3, А), локализована в одной из радиальных трещин, образовавшихся в результате застывания Эндыбальского субвулкана [14]. Главный рудный минерал брекчий первого этапа (рис. 3, Б) – арсенипирит, и, вероятно, с ним ассоциирует ранняя $Au-Bi$ минерализация, которая была обнаружена, исследована и продатирована в рудоносных метасоматитах Эндыбальского субвулкана [15].

Рудные брекчии второго этапа. Большинство серебряных рудных тел Эндыбальского рудного узла расположены на значительном удалении от пояса даек и субвулканических гранит-порфиров. Только для месторождения Вертикальное установлено, что дайка андезитобазальтового состава брекчирована и сцементирована галенит-

сфалеритовыми рудами. Анализ большого количества кернового материала и проб с поверхности месторождения свидетельствует, что к началу второго этапа вся магматическая активность завершилась, а рудные брекчии были сформированы возобновлением тектонической и гидротермальной активности.

В брекчирование второго этапа были вовлечены и брекчии первого этапа, о чем свидетельствует обломочный материал, показанный на рис. 3, В. Состав цемента преимущественно сфалеритовый, реже галенитовый и тетраэдритовый с небольшим количеством станина и халькопирита. Жильные минералы: кварц (молочно-белый) и сидерит (желтый до светло-коричневого).

Рудные брекчии третьего этапа. С третьего этапа брекчирования начинают формироваться богатые серебряные руды месторождения Вертикальное. В них появляется существенное количество серебряных сульфосолей, но преобладают минералы с содержанием серебра 6 % (овихиит $Pb_7Ag_2Sb_6Bi_2S_{20}$), 12 % (андорит $PbAgSb_3S_6$) и редко 20 % (фрейеслебениит $AgPbSbS_3$) и 23 % (диафорит $Pb_2Ag_3Sb_3S_8$). Цемент брекчий кварцевый (рис. 3, Г), в котором игольчатые минералы серебра образуют тесные взаимные сростания и уверенно диагностируются только микрозондовыми исследованиями [13].

Рудные брекчии четвертого этапа. Четвертый этап брекчирования характеризуется образованием наиболее богатых серебряных руд месторождения Вертикальное. Преобладают минералы с содержанием серебра 40 % (фрейбергит $Ag_{7,2}Cu_{3,6}Fe^{2+}_{1,2}Sb_3AsS_{13}$), 59 % (пираргирит Ag_3SbS_3), 68 % (стефанит Ag_5SbS_4) и 100 % (серебро самородное). Руды карбонат-серебросульфосольной минеральной ассоциации слагают друзовидные агрегаты сидерита с крупными вкраплениями фрейбергита. В друзовых пустотах часто встречаются проволоки самородного серебра. Карбонат цементирует обломки более ранней кварц-серебросульфосольной ассоциации и вмещающих песчаников (рис. 3, Д).

Месторождение Кис-Кюельское

Кис-Кюельское проявление расположено в Западном Верхоянье (широта $65^{\circ}30'4.47''C$, долгота $130^{\circ}16'48.45''B$), южнее Эндыбальского рудного узла в восточном крыле Эндыбальской антиклинали, в ядре которой распространены выходы терригенных пород S_3-P_1 . Перспективная рудоносность Кис-Кюельского интрузива

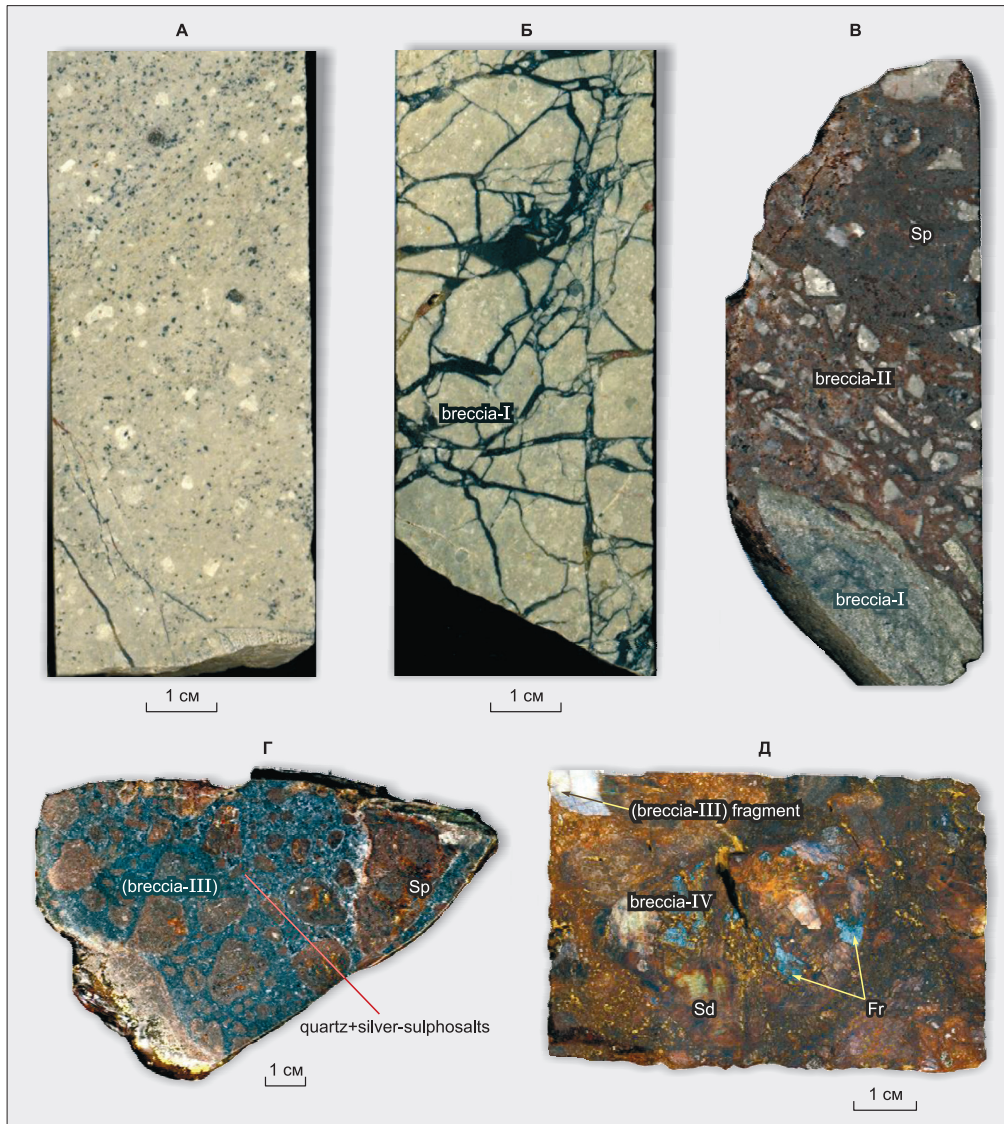


Рис. 3. Последовательность рудных брекчий месторождения Вертикальное.

А – досеребродная дайка андезитобазальтов без признаков брекчирования (возраст даек по А.В.Прокопьеву и др. [15] 102–98 млн лет), образец V07-014-178, коллекция автора; **Б** – первая стадия рудных брекчий месторождения Вертикальное: брекчированная дайка с кварц-сульфидным цементом (серый тонкозернистый кварц насыщен тонкой вкрапленностью арсенипирита), образец V07-014-179, коллекция автора. **В** – рудные брекчии второго этапа (breccia-II) сложены обломками брекчий первого этапа (брекчированная дайка с кварц-сульфидным цементом). Цемент брекчии сфалеритовый, реже встречаются галенит, тетраэдрит и серебросодержащие сульфосоли (образец V07-020-187, коллекция автора). Sp – сфалерит, breccia-I – обломки брекчий первого этапа. **Г** – брекчированная сфалеритовая руда (breccia-III) с кварц-серебросульфосольным цементом (образец 5311, коллекция автора). В обломочной части сфалеритовые руды, показанные на рис. 3, **В**. **Д** – частично окисленная карбонат-фрейбергитовая брекчия четвертой стадии (breccia-IV). Цемент брекчии – сидерит (частично окисленный) и фрейбергит. В обломочной части кварц-серебросульфосольные руды третьей стадии. Образец V07-003_105, коллекция автора. Sd – сидерит; Fr – фрейбергит.

Fig. 3. The sequence of ore breccia of the Verticalnoye deposit.

A – Before silver-ore dyke of andesite-basalts without any brecciation (the age of the dikes by A. V. Prokopiev, et al. [15] 102–98 mA), the sample V07-014-178, collection of the author. **B** – Ore breccia-I from Verticalnoye deposit: brecciated dyke with quartz-sulfide cement (grey fine-grained quartz saturated with a thin impregnation of arsenopyrite), sample V07-014-179, collection of the author. **B** – Ore breccias of the second stage (breccia-II) are composed of fragments of breccias of the first stage (brecciated dyke with quartz-sulphide cement). In the cement of the stage-II breccia sphalerite, rare galena, tetrahedrite and silver-bearing sulphosalts (sample V07-020-187, collection of the author). Sp – sphalerite; breccia-I – the fragments of the first stage breccia. **Г** – Brecciated sphalerite ore (breccia-III) with quartz-silver-sulphosalt cement (sample 5311, collection of the author). In the fragments the sphalerite ore shown in figure 3D. **Д** – Partially oxidized carbonate-freibergite breccia-IV. In breccia cement – siderite and freibergite. The fragments of the quartz –silver-sulphosalts (breccia-III). Sample V07-003_105, author’s collection. Sd – siderite; Fr – freibergite.

была впервые открыта в 2008 году сотрудниками ИГАБМ СО РАН А.В. Костиным и М.С. Желонкиной. Все рудные тела проявления локализованы непосредственно в контурах Кис-Кюельского штока площадью около 2 км². Строение штока неоднородное. Его южная часть сложена гранодиоритами, северная – диоритами. Шток слабо эродирован, на его кровле сохранились останцы ороговикованных песчаников.

Рудная минерализация расположена в пределах апикальной зоны диорит-гранодиоритового штока и представлена гематитом, гетитом, кварцем, реже халькопиритом, арсенопиритом, пиритом, самородным золотом и висмутом. Брекчиевый комплекс состоит из залежи типа «манто» неправильной формы с включенными массивами минерализованных жил и прожилков. В пределах комплекса установлены градации от измененных

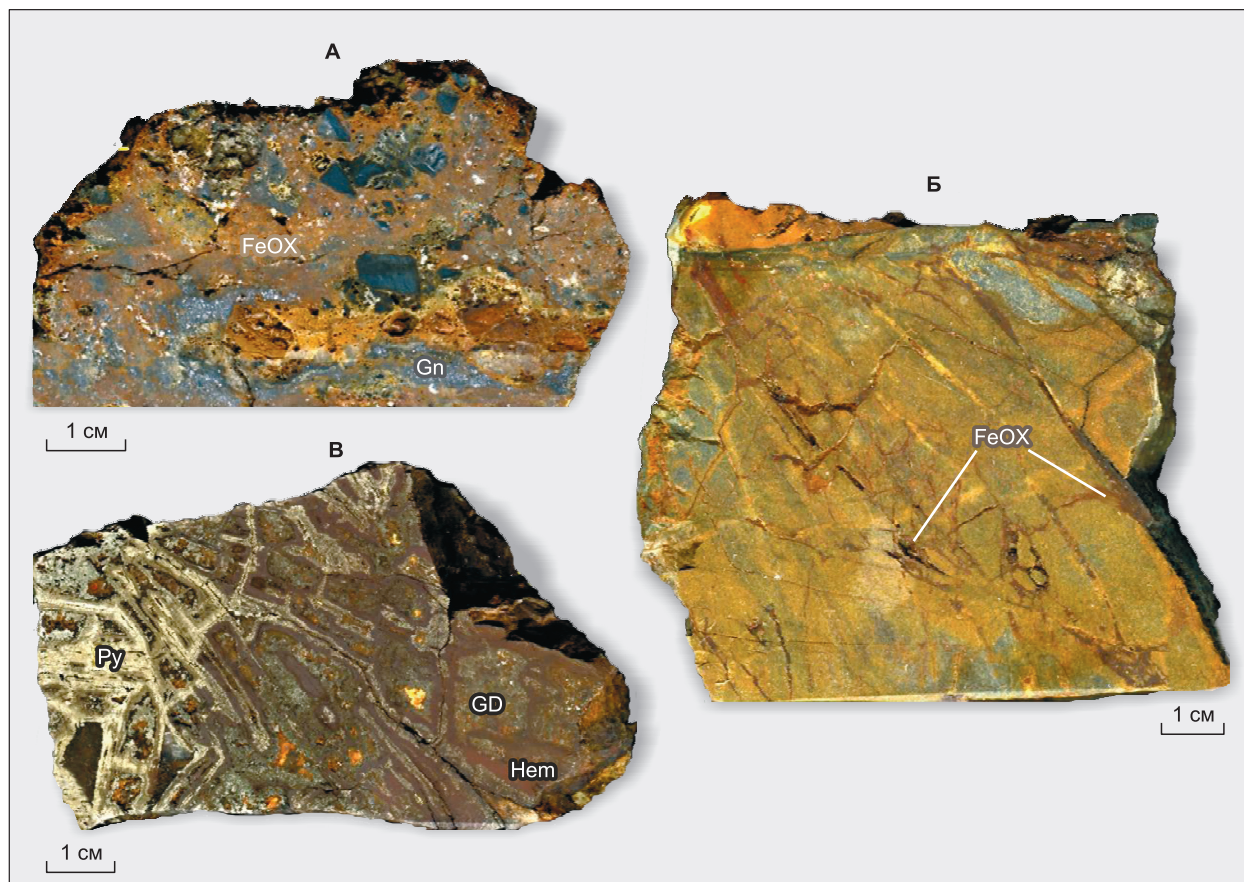


Рис. 4. Главные типы рудных брекчий месторождения Кис-Кюель.

А – на контакте интрузии и песчаников развита зона брекчий. Песчаники (черное) ороговикованы, брекчированы и сцементированы галенитом (Gn) и гидроксидами железа (FeOX). Образец 88051, коллекция автора: FeO_{total} – 28,6 %; Au – 16,81 г/т; Ag – 191,0 г/т. **Б** – измененный брекчированный песчаник в экзоконтакте Кис-Кюельского интрузива. Минерализация представлена разноориентированным прожилкованием от 1 мм до 5–7 см толщиной. В прожилках кварц желтоватого оттенка и разнообразные гидроксиды железа (FeOX). Интенсивность прожилкования различная, в среднем несколько тонких прожилков на 1 см. Образец 88070, коллекция автора: FeO_{total} – 25,68%; Au – 19,97 г/т; Ag – 111,0 г/т. **В** – кварц-гематит (Hem)-пиритовая (Py) руда цементирует обломки измененного гранодиорита (GD). Образец 88113В, коллекция автора: FeO_{total} – 50,8 %; Au – 37,18 г/т; Ag – 11,0 г/т.

Fig. 4. The main types of ore breccias from Kis-Kuel deposit.

A – At the contact of intrusion and sandstones the zone of ore breccias. Hornfielded sandstones (black) are brecciated and cemented by galena (Gn) and iron-oxides (FeOX). Sample 88051, author's collection: FeO_{total} – 28.6 %; Au – 16.81 g/t; Ag – 191.0 g/t. **B** – Altered brecciated sandstone in the exocontact of Kis-Kuelsky intrusive. Mineralization is represented by multidirectional veining from 1 mm to 5–7 cm thick. The veins consist of quartz yellowish hue and a variety of iron oxides (FeOX). The intensity of veining is different, on average several thin veinlets per one cm. Sample 88070, author's collection: FeO_{total} – 25.68 %; Au – 19.97 g/t; Ag – 111.0 g/t. **B** – Quartz-hematite (Hem)-pyrite (Py) ore cements fragments of altered granodiorite (GD). Sample 88113B, author's collection: FeO_{total} – 50.8 %; Au – 37.18 g/t; Ag – 11.0 g/t.

гематитом и гетитом гранодиоритов и в меньшей степени диоритов до брекчий с гематит-гетитовым цементом.

Fe-оксидная-Cu-Au и сопряженная медно-порфировая с Au-Bi-Cu содержащими кварцевыми жилами и массивами листоватых кварцевых жил минерализация ассоциирует со стадией интенсивного брекчирования и часто включает обломки гранодиоритов различных размеров, которые сцементированы гематитом, гетитом и пиритом. Редкие сульфиды частично окислены, а тонкие трещинки во вмещающих породах могут быть заполнены скородитом, малахитом и азуритом. Свинцово-серебряные жилы или рудные брекчии с дополнительной ИОСГ-минерализацией локализованы как в гранодиоритах, так и диоритах. Вблизи галенитовых жил в диоритах по тонким трещинам отмечаются вторичные минералы меди – малахит и азурит, которые являются надежными поисковыми признаками руд.

Главные черты Кис-Кюельского месторождения: 1) ассоциация с высоко-К известково-щелочным типом рудогенерирующего диорит-гранодиоритового интрузива, окислительно-восстановительный индекс (Fe_2O_3/FeO) в области ильменитовой серии пород; 2) весь объем руды расположен внутри интрузива, за его контурами в области измененных вмещающих пород интенсивность оруденения затухает; 3) интенсивное брекчирование кровли рудовмещающего интрузива; 4) преобладание оксидов железа в цементе ИОСГ-брекчий, низкое количество сульфидов; 5) положительная корреляция между Au и Fe_2O_3 в ИОСГ руде; 6) экономическая привлекательность руд: FeO_{total} – от 13,58 до 63,24 %; Cu – от 0 до 3,57 %; Au – от 12,93 до 64,48 г/т; Ag – от 2,7 до 830 г/т.

Рудные брекчии зоны экзоконтакта. На контакте гранодиоритов и алевропесчаников развита зона рудных брекчий, в которых вмещающие породы ороговикованы, брекчированы и сцементированы гидроксидами железа и галени-том (рис. 4, А).

Порфировая Cu-Au руда состоит из рассеянных в породах минералов меди, прожилков, брекчий и ассоциирующей кварц-молибденитовой минерализации. Рентгенофазовым анализом в рудах обнаружены артурит: $CuFe_2((H_2O)_4(OH)_2(AsO_4)_2)$, ярозит: $(K_{0,95}(H_3O)_{0,05})Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$ и скородит: $FeAsO_4(H_2O)_2$. В порфировом окружении с измененными породами пространственно связаны про-

жилки, мощностью 0,1–5 см, а их суммарный вклад не превышает 1–5 % от объема руд (рис. 4, Б).

Внутриинтрузивные рудные брекчии ИОСГ-типа. Fe-оксидная-Cu-Au и ассоциирующая медно-порфировая с Au-Bi-Cu-содержащими кварцевыми жилами и массивами листоватых кварцевых жил. Рудная минерализация ассоциирует со стадией интенсивного брекчирования и часто включает обломки гранодиоритов различных размеров, которые сцементированы гематитом, гетитом и пиритом (рис. 4, В). Редкие сульфиды частично окислены, а тонкие трещинки во вмещающих породах могут быть заполнены скородитом, малахитом и азуритом. Свинцово-серебряные жилы или рудные брекчии с дополнительной ИОСГ-минерализацией локализованы как в гранодиоритах, так и диоритах. Вблизи галенитовых жил в диоритах по тонким трещинам отмечаются вторичные минералы меди – малахит и азурит, которые являются надежными поисковыми признаками руд.

Рудные брекчии зон разломов

Зоны минерализованных брекчий являются частью систем рудоподводящих структур, выделение которых имеет большое значение. При относительно небольшой мощности (метры–первые десятки метров) они довольно протяженные и могут распространяться на большую глубину. Рудные брекчии Западного Верхоянья обычно пространственно ассоциируют со структурным парагенезисом генеральный сдвиг–сбрососдвига. С последними связаны участки растяжения, благоприятные для образования брекчий. Участки рудных брекчий зон разломов формируются в ходе длительного времени, включающего несколько телескопированных друг в друга разновозрастных стадий минерализации, разделенных несколькими этапами брекчирования.

Месторождение Хачакчанское

По данным Г.В.Денисова и др. [18, 19], рудные тела Хачакчанского месторождения приурочены к зоне долгоживущей Томпо-Делиньинской глубинной структуры, которая выделяется по комплексу геолого-геофизических признаков, имеет северо-восточное простирание и состоит из трех основных разломов – Хунхадинского, Хенекичанского и Синьяминского. Ширина структуры около 30 км при протяженности более 150 км. Наиболее активно разлом проявил себя в

конце мела на завершающем этапе складчатости. Сдвиговые перемещения по нему привели к значительному растяжению и развороту складчатых структур с северо-западного до субдолготного простирания. Нарушения данной системы носят сдвиговый и сбрососдвиговый характер (правые сдвиги) с амплитудой горизонтальных перемещений от 0,6 до 7,0 км, а вертикальных – первые

сотни метров. Места расщепления главных разломов благоприятны для локализации рудных брекчий.

Месторождение расположено на северо-востоке Якутии в пределах южного окончания Сартангского синклинория на водоразделе рек Томпо и Хунхада, притоков р. Алдан, и относится к Томпо-Делиньинской рудной зоне. Месторожде-

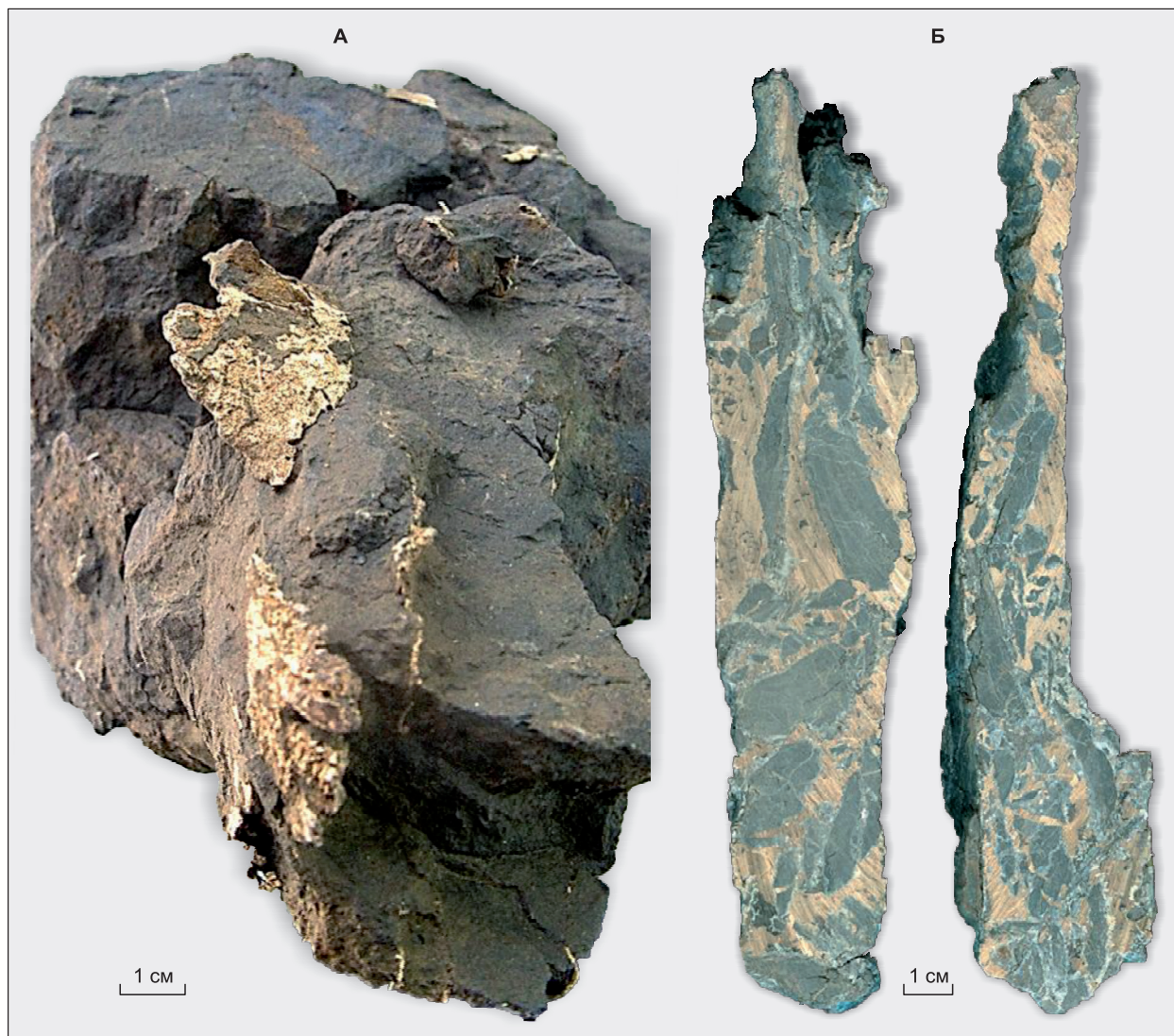


Рис. 5. Главные типы руд с амальгами серебра Хачакчанского месторождения.

А – минерализованная амальгамой серебра зона дробления в песчаниках. Амальгамы представлены пластинами, линзами и вкраплениями. Вес 1272 г. Музей ГУГПИ «Восточнаякутское», пос. Хандыга. **Б** – раздробленный темно-серый мелкозернистый песчаник, в котором обломки сцементированы амальгамой серебра. Хачакчанское месторождение, музей ГУП «Сахагеоинформ».

Fig. 5. The main types of ore with silver amalgams of Khachakchansky deposit.

A – mineralized with amalgam of silver the zone of crushing in sandstone. Amalgam presented with plates, lenses and disseminations. Weight 1272 gr. Khachakchansky deposit, museum of SMGE «Vostochnoyakutskoye». **B** – crushed dark gray fine-grained sandstone, where the fragments are cemented with silver amalgam. Khachakchansky deposit. Samlle from museum of SUE «Sakhageoinform».

ние может быть отнесено к послегранитоидной группе, которая, по данным Ю.П. Ивенсена и др. [20], не обнаруживает никакой пространственной и, скорее всего, генетической связи с магматизмом. Открыто в 1990 г. А.Е. Окуневым во время проведения общих поисков м-ба 1:10000.

Месторождение Хачакчан сформировано в терригенном структурном ярусе Верхоянского комплекса. Серия рудоподводящих разломов северо-восточного простирания является секущей по отношению к интенсивной складчатости, что в целом и формирует картину строения Алара-Сахского рудного поля, включающего серебряные месторождения Хачакчан, Ночное и Холоднинское. Вмещающие оруденение породы представлены отложениями теберденьской, дадойской и опуонской свит верхней перми, моноклинально залегающих на северо-восточном крыле Алара-Сахской антиклинали.

Месторождение сформировано в зоне расщепления Синьянского разлома. Пласты пород разорваны серией нарушений, которые, по данным Г.В. Денисова и др. [18], субвертикальные и в большинстве случаев безамплитудные, лишь по отдельным разломам северо-восточного простирания отмечаются правосдвиговые смещения до 20–120 м. Оруденение вмещают разрывные нарушения северо-восточного простирания. На площади месторождения выявлено более 40 потенциально сереброносных зон протяженностью от 250 м до 4,0 км, мощность меняется от 0,2 до 5,0 м, иногда увеличиваясь до 10 м. Встречаются участки дробления, где минерализация представлена только амальгамой серебра. Обычно это зоны дробления с обильными глинами трения и зеркалами скольжения, пронизанные тонкими прожилками с амальгамами серебра (рис. 5, А). Прожилки иногда образуют стволую зону брекчий, пропитывая вмещающие породы. Количество кварц-карбонатного материала в них составляет в среднем 10–20 %, но может уменьшаться почти до нуля. В этом случае зоны брекчий состоят нацело из амальгамы серебра, которая цементирует обломки песчаника (рис. 5, Б).

Главные черты Хачакчанского месторождения: 1) в рудах большинства рудных зон присутствуют амальгамы серебра – конгсбергит, аркверит, бордозит [21–23]. Размеры выделений от 1 мм² до 150 см², вес – до 1 кг; 2) содержания серебра в рудах с амальгамами серебра достигает 22 кг/т; 3) общая низкая сульфидность богатых серебряными руд. Содержание сульфидов в

сереброносных ассоциациях невысокое, не превышает 1–2 %, а на флангах месторождения наблюдаются галенит-сфалерит-карбонатные руды с содержанием сульфидов до 5–10 %. 4) экономическая привлекательность руд: Ag от 602 до 3293 г/т; Pb – 1,2 %; Zn – 0,08 %; Sn – 0,1 %; Hg – 0,27 %; Au отсутствует.

Эндыбальская рудная гора

Эндыбальская рудная гора объединяет несколько проявлений серебра и золота, являясь частью крупного Эндыбальского серебрянорудного узла Западного Верхоянья (Восточная Якутия). Основное рудное тело состоит из локальных зон брекчий с рудным цементом и многочисленных сближенных трещин, выполненных карбонатом, кварцем, сульфидами и серебряными сульфосолями (рис. 6, А). Руды представлены несколькими минеральными и структурными типами: 1) зоны брекчий и прожилково-вкрапленной сидерит-халькопирит-пиритовой минерализации, секущие галенитовые прожилки с линзами арсенопирита, марматита, пирита, сидерита и вкраплениями пираргирита; 2) пластовые сидерит-анкерит-серебросульфосольные прожилки с незначительной ролью галенита. Наличие в рудах золота в количестве до 6 г/т и прямая корреляционная связь с серебром позволяет считать руды золотосеребряными [24]. Обычно к межпластовым срывам приурочены пластовые прожилки, а их интенсивность составляет от одного до нескольких на метр разреза. В этом типе прожилков присутствует пирит-арсенопирит-доломит-овихитовая минерализация (рис. 6, Б). Между пластовыми жилами всегда отмечаются участки рудных брекчий (рис. 6, В).

Главные черты Эндыбальской рудной горы: 1) отсутствует пространственная ассоциация с магматизмом; 2) рудное тело штокверковой конфигурации приурочено к не вскрытой эрозией части Эндыбальского субвулкана; 3) главными носителями серебра в рудах являются фрейбергит и пираргирит, которые встречаются и в галенитовых, и в сфалеритовых минеральных типах руд; 4) по содержанию главных полезных компонентов руды представлены золотосеребряными и золотомедными разновидностями [24], их расположение контролируется разломами северо-восточного простирания; 5) для всех типов руд сохраняется положительная корреляция золота и серебра; 6) экономическая привлекательность руд: Ag от 16 до 10000 г/т; Au от 0 до 6,1 г/т; Cu от 0,02 до 2,98 %; Pb от 0,02 до 42,51 %; Zn от 0,07 до 7,65 %.

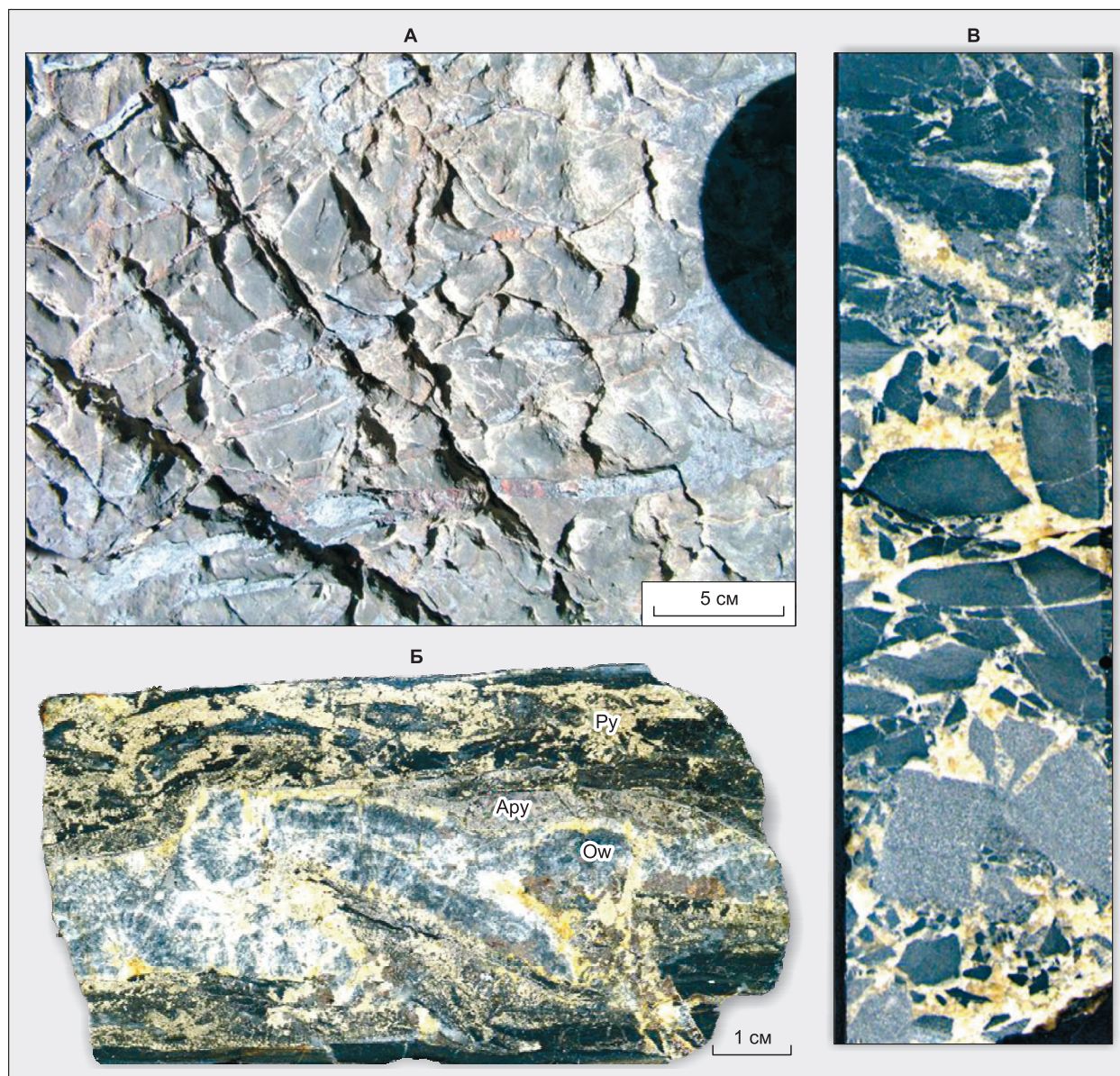


Рис. 6. Главные типы рудных брекчий Эндыбальской рудной горы.

А – разноориентированные и минерализованные пиритом, галенитом и пираргиритом трещины в скальных обрывах Эндыбальской рудной горы образуют крупнообъемное тело рудных брекчий, фотография автора. Лучшее рудное пересечение месторождения, опробованное автором в 1993–1995 в обрывах левого борта р. Сириландже, включает интервал 13,25 м, содержащий 864,5 г/т серебра. **Б** – складки волочения, образовавшиеся по доломит-овихейтовому (Ow) пластовому прожилку. Более поздняя минерализация представлена пиритом (Py) и арсенопиритом (Apy). Образец 8810, коллекция автора: Ag – 952,0 г/т; Au – 2,5 г/т; Cu – 0,04 %; Pb – 1,52 %, Zn – 1,65 % (образец 88010). **В** – брекчирование черных и серых песчаников. Цемент сидеритовый с включениями блеклой руды. Образец END-1-37, коллекция автора: Ag – 1120 г/т; Cu – 0,16 %; Pb – 0,24 %, Zn – 0,2 %.

Fig. 6. The main types of ore breccias from Endybal ore mountain.

A – multi-directional mineralized with pyrite-galena-ruby (pyrargyrite) fractures in rock outcrops of the Endybal ore mountain form a large-volume body of ore breccia's, the picture of the author. The best ore intersection of the deposit, sampled by the author in 1993–1995 on the left bank cliffs of Sirilendje river including 13.25 m interval with a grade of 864.5 g/t silver. **B** – folds lug formed on dolomite – omyheite (Ow) stratabound veinlet. Later mineralization is represented by pyrite (Py) and arsenopyrite (Apy). Sample 8810, author's collection: Ag – 952.0 g/t; Au – 2.5 g/t; Cu – 0.04 %; Pb – 1.52 %, Zn – 1.65 %. **B** – brecciated black and grey sandstones. In breccia cement – siderite with freibergite inclusions. Sample END-1-37, author's collection: Ag-1120 g / t; Cu – 0.16 %; Pb – 0.24 %, Zn – 0.2 %.

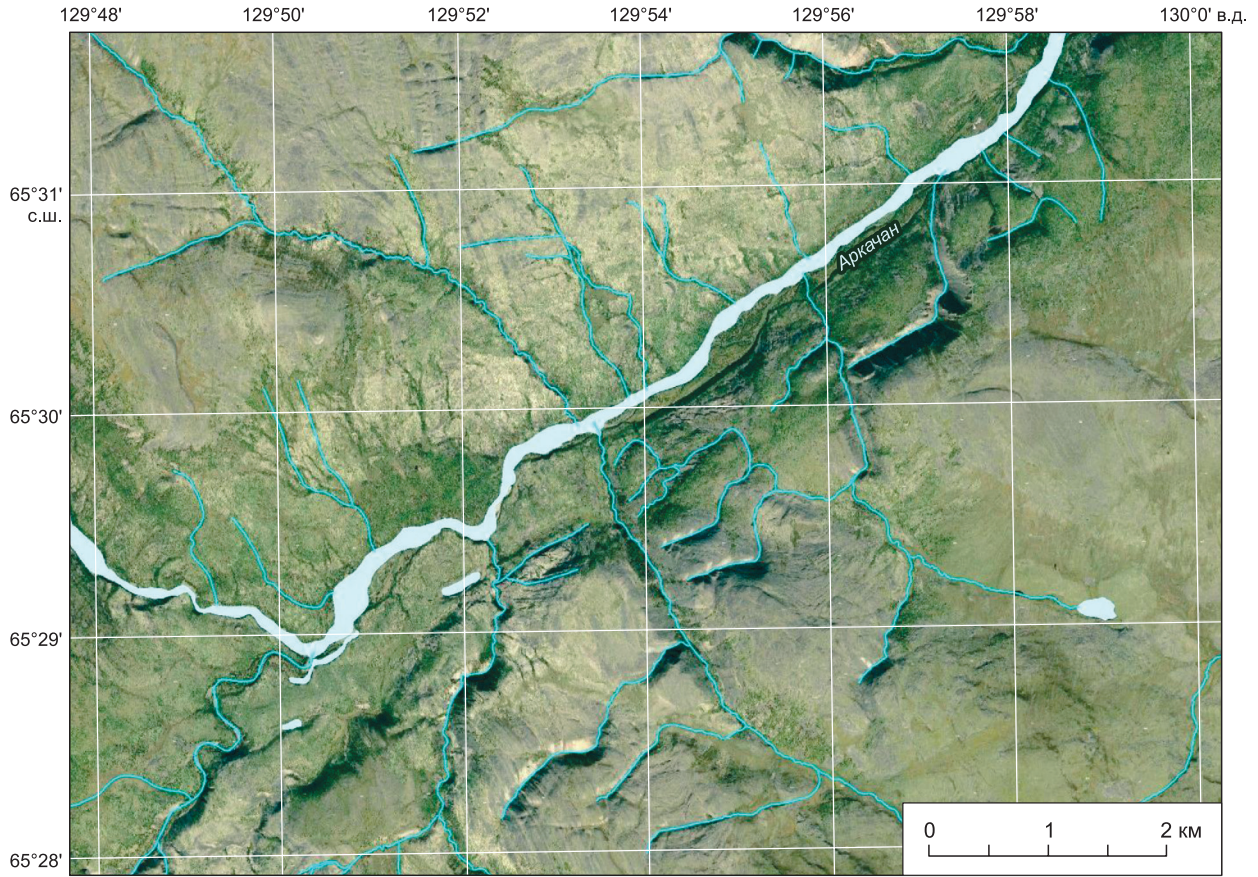


Рис. 7. Фрагмент Северо-Тирехтыхского северо-восточного регионального разлома на космическом снимке IKONOS + GeoEye, (сервис Яндекс.Карты: <http://maps.yandex.ru/>, обработка ООО «СКАНЭКС»). Отчетливо видно, как сбрососдвиговая система разломов кайнозойской активизации в правом борту р. Аркачан образует серию сопряженных тектонических рвов и смещает долины ручьев. Северо-восточное направление разломов совпадает с простиранием рудных тел месторождения Аркачан, север-северо-западное – с системой Ньюктаминского рудоконтролирующего разлома и главных рудных тел Эндыбальского рудного узла. Разломы северо-восточного простирания образуют серию уступов и линейных впадин, заполненных водой, и, вероятно, относятся к сбрососдвигам. Разломы север-северо-западного простирания также образуют сбрососдвиговые дислокации, причем западные края блоков приподняты, а восточные опущены, что подчеркивается специфической геометрией гидросети.

Fig. 7. A fragment of the North-Tirekhtyakh North-East regional fault on a space image of IKONOS + GeoEye, (service Yandex. Map: <http://maps.yandex.ru/>, processing, LLC «SCANEX»). One can clearly see how normal fault – strike-slip cenozoic activation fault system in the right side of the Arkachan river forms a series of conjugated tectonic moats displacing stream valleys. North-East direction of the faults coincides with the strike of the Arkachan deposit ore bodies, North-North-West – with Nuektaminskiy ore-controlling fault and main ore bodies at the Endybal ore cluster. The faults of the North-Eastern direction form a series of ledges and linear depressions filled with water and probably belong to the normal fault – strike-slip. The faults of the North – North-West trending, also form a fault-shear dislocations, where the Western edge of the blocks are raised, and the East is omitted, it is emphasized by the specific geometry of the drainage network.

Обсуждение результатов

Начало формирования рудных тел месторождения Вертикальное значительно моложе 102–98 млн лет и включает четыре стадии. Серебряность руд увеличивается от ранней к поздней стадии. Каждая из стадий включает процесс брекчирования и последующей цементации обломков рудным материалом. Время начала первой стадии брекчирования и период протекания каж-

дой из стадий минерализации и последующего брекчирования оценить не представляется возможным. При этом на площади рудного поля отчетливо выделяются системы тектонических нарушений кайнозойской активизации, простирание которых соответствует главным рудоконтролирующим разломам (рис. 7). В богатых серебряных рудах повсеместно присутствуют полости с друзами кристаллов кварца, фрейбергита, пир-

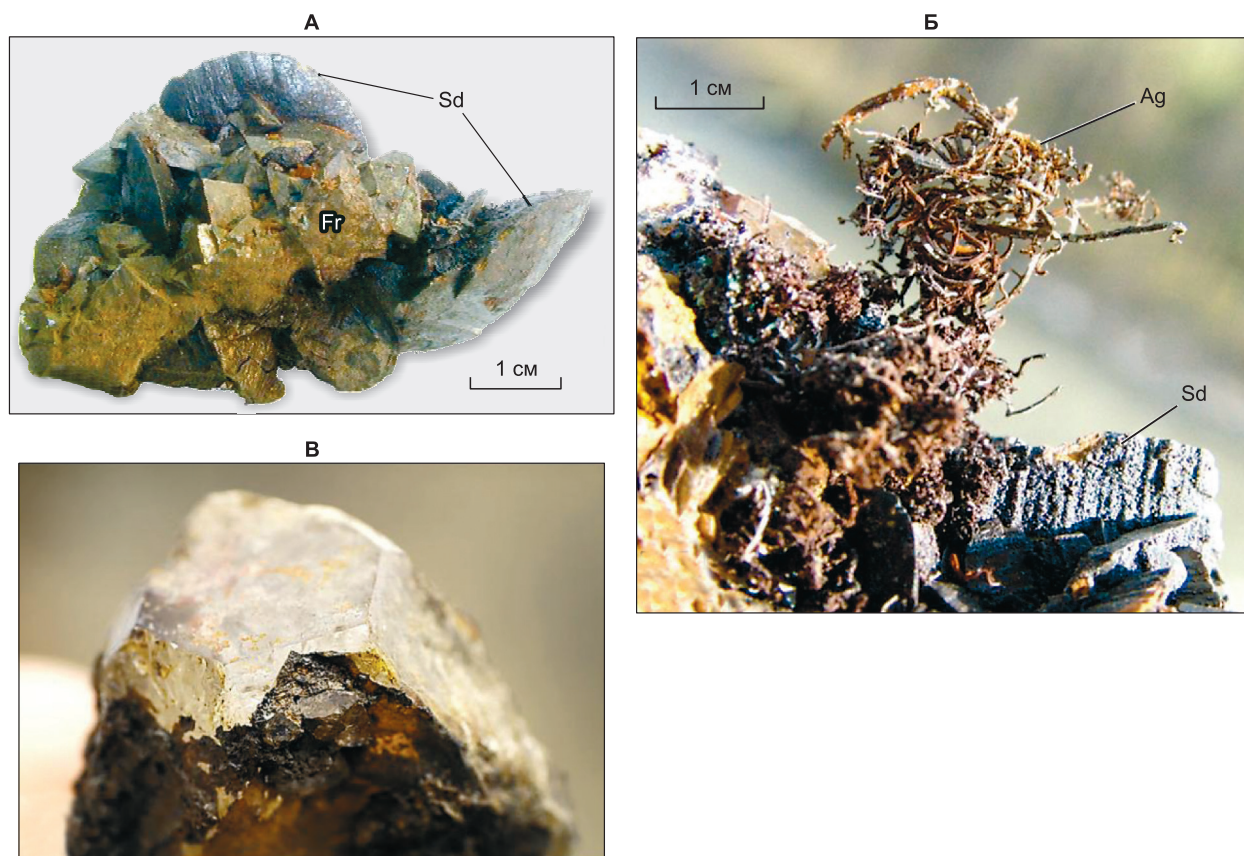


Рис. 8. Примеры рудных минералов, образовавшихся после прекращения тектонической активности рудоконтролирующих разломов.

А – фрейбергит (Fr) – сидеритовая (Sd) друза из полости в жиле Безымянного месторождения: образец 4312, коллекция автора. **Б** – проволоки самородного серебра (Ag) на друзе кристаллов сидерита (Sd) из полости в рудном теле месторождения Вертикальное: образец 5050, коллекция автора. **В** – кристалл кварца из золотосеребряных руд Эндыбальской рудной горы: образец 4312, коллекция автора. Хорошая сохранность кристаллов свидетельствует, что после их образования тектонических деформаций не было.

Fig. 8. Examples of ore minerals formed after the termination of tectonic activity of ore-controlling faults.

A – freibergite (Fr) – siderite (Sd) druse from the cavity in the vein of a Bezymiannoe deposit: sample 4312, the author's collection. **B** – wires of native silver (Ag) on the druse of siderite (Sd) crystals from the cavity in the ore body of the Verticalnoye deposit: sample 5050, the author's collection. **B** – quartz crystal in gold-silver ores from the Endybal ore mountain: sample 4312, author's collection. Good safety of crystals testifies that after their formation there were no tectonic deformations.

аргирита, проволоками самородного серебра, которые были бы разрушены и перетерты более поздними тектоническими событиями, если бы они состоялись. Неразрушенные кристаллы в рудных друзах (рис. 8) богатых серебряных руд Нижнеэндыбальского, Безымянного и Мангазейского месторождений свидетельствуют о молодом возрасте рудообразования, после которого тектоническая активность главных рудоконтролирующих структур прекратилась.

При анализе рудоконтролирующих разрывных структур Нижнеэндыбальского месторождения мы опираемся на последовательность геологических событий: складчато-надвиговые

дислокации → прорывающие складчатость магматические образования → наложенные на магматические образования тектонические зоны рудных брекчий. Из выделенных Ф.Ф. Третьяковым и др. временных структурных парагенезисов [25] для рудных брекчий более всего соответствует сдвиговое поле напряжений второго этапа деформаций. Это обосновывает хорошую сохранность рудных кристаллов в друзовых полостях месторождения.

Кис-Кюельские рудные брекчии расположены внутри интрузива и в ближней зоне экзоконтакта. Наиболее вероятно, что их образование по времени ассоциирует с застыванием массива. Пре-

обладание в составе брекчий гидроксидов железа указывает на характер эволюции магматического очага, при котором существенная часть железа не перешла в железосодержащие породообразующие силикаты, а реализовалась в гидротермальных растворах.

Образование серебро-ртутной минерализации Аллара-Сахского рудного поля трактуется исследователи по-разному. В.В. Крылова и Л.Н. Кичигин [21] относят их к эпitherмальным серебро-полиметаллическим месторождениям и подчеркивают возможную связь проявлений с гранитоидным магматизмом Агылки-Хунхадинской зоны. Месторождения являются или самыми поздними, или наиболее удаленными от гранитоидных массивов частями олово-серебряных вулканоплутонических систем. В.А. Амузинский и др. [22] относят их к телетермальному фрейбергитовому минеральному типу сурьмяно-ртутной рудной формации, сформировавшейся в поздне меловую-палеогеновую эпоху. Наличие в руде ртути характерно для большинства месторождений Дулгалахской ртутной зоны [26].

Эндыбальская рудная гора характеризуется сложным геологическим строением. Рудное тело является штокверком, состоящим из многочисленных разноориентированных прожилков. Его расположение над не вскрытой эрозией частью Эндыбальской субвулканической структуры обусловило обширное развитие брекчий. Автор предполагает, что в штокверковом рудном теле сложного строения золотосеребряные руды на глубине переходят в золотомедные, аналогами которых является Аркачанское золотомедное месторождение.

Заключение

Анализ современных детальныx космических снимков однозначно свидетельствует о наличии в Западном Верхоянье кайнозойской тектонической активности. Присутствие в рудных месторождениях Западного Верхоянья друзовых пустот с кристаллами рудных и жильных минералов хорошей сохранности свидетельствует о том, что после их образования значительных тектонических подвижек не происходило, иначе кристаллы были бы разрушены. На этом основании можно предполагать, что и богатые серебряные руды образовались после затухания кайнозойской тектонической активизации.

Ключевым моментом изучения рудных брекчий на любом месторождении является установ-

ление количества их минеральных разновидностей и последовательности смены одних типов другими. После проведенных исследований совершенно очевидно, что время образования брекчий с богатыми серебряными рудами месторождения Вертикальное существенно моложе, чем возраст пространственно ассоциирующих магматических образований. Это приводит к выводу о целесообразности ревизии рудоносности разломов кайнозойской активизации.

Минерализация железоксидного медно-золотого (IOCG) типа на территории северо-востока России никогда не являлась предметом специальных поисков. Открытие внутриинтрузивного IOCG-типа рудной минерализации для Кис-Кюельского диорит-гранодиоритового массива с ультрабогатыми содержаниями золота является принципиально новым шагом для понимания главных высокопродуктивных этапов рудообразования складчатого обрамления восточной части Северо-Азиатского кратона. Автор предполагает наличие аналогичных IOCG-проявлений на территории Восточной Якутии в кровлях некоторых малых слабо эродированных интрузий.

Уникальность руд Хачакчанского месторождения заключается в крайне низкой активности серы в рудном процессе. Это привело к тому, что значительная часть серебра в рудах реализовалась в самородной форме. Рудообразование происходило в участках образования структур «конского хвоста», что привело к широкому развитию рудных брекчий.

Эндыбальская рудная гора – сложный геологический объект, история изучения и освоения которого началась еще в XVIII в. Объектами для отработки служили отдельные маломощные разноориентированные галенитовые жилы, из которых добывали свинец. После проведенных исследований очевидно, что главным промышленным типом руд являются не отдельные жилы, а брекчированный и минерализованный объем пород. Форма рудного тела – штокверк.

Литература

1. Прокопьев В.С., Урзов А.С., Буделева С.Ш. и др. Геологическая карта Якутии. Западно-Верхоянский блок. Масштаб 1:500000. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 1999. 19 л.
2. Páez G.N., Ruiz R., Guido D.M., Jovic S.M., Schalamuk I.B. Structurally controlled fluid flow: High-grade silver ore-shoots at Martha epithermal mine, Deseado Massif, Argentina //Journal of Structural Geology. 2011. V. 33, N 5. P. 985–999. DOI: 10.1016/j.jsg.2011.02.007

3. *Hossein Kouhestani, Majid Ghaderi, Khin Zaw, Sebastien Meffre, Mohammad Hashem Emami.* Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold–silver deposit in the Tethyan belt of Iran // *Mineralium Deposita*. 2012. V. 47, N 4. P. 425–440. DOI: 10.1007/s00126-011-0382-3
4. *Fontboté L.* Ore Deposits of the Central Andes // *Elements*. 2018. V. 14, N 4. P. 257–261. DOI: 10.2138/gselements.14.4.257
5. *McPhie J., Cas R.* Volcanic successions associated with ore deposits: Facies characteristics and ore–host relationships // *The Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, 2015. P. 865–879. DOI: 10.1016/B978-0-12-385938-9.00049-3
6. *Monteiro L.V.S., Roberto Perez Xavier, Murray W. Hitzman, Caetano Juliani, Carlos Robertode Souza Filho, Emerson de R. Carvalho.* Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil // *Ore Geology Reviews*. 2008. V. 34. №. 3. Pp. 317–336. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2008.01.003
7. *Bertelli M., Baker T.* A fluid inclusion study of the Suicide Ridge breccia pipe, Cloncurry district, Australia: Implication for breccia genesis and IOCG mineralization // *Precambrian Research*. 2010. V. 179, N 1–4. P. 69–87. DOI: 10.1016/j.precamres.2010.02.016
8. *David I.G., Frank P.B., Lawrence D.M., Murray W.H.* Iron oxide copper–gold (IOCG) deposits through Earth history: Implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits // *Economic Geology*. 2010. V. 105, N 3. P. 641–654. DOI: 10.2113/gsecongeo.105.3.641
9. *Hunt J. A., Baker T., Thorkelson D. J.* Wernecke Breccia: Proterozoic IOCG mineralised breccia system, Yukon, Canada // *Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective–Advances in the Understanding of IOCG Deposits*. 2010. P. 345–356.
10. *Cristiana L.C., Benjamin P. Wade Nigel J. Cook, Andreas Schmidt Mumm, David G.* Uranium-bearing hematite from the Olympic Dam Cu–U–Au deposit, South Australia: A geochemical tracer and reconnaissance Pb–Pb geochronometer // *Precambrian Research*. 2013. V. 238. P. 129–147. DOI: 10.1016/j.precamres.2013.10.007
11. *Levresse G. et al.* Degassing as the main ore-forming process at the giant imiter Ag–Hg vein deposit in the Anti-Atlas Mountains, Morocco // *Mineral Deposits of North Africa*. Springer, Cham, 2016. P. 85–106. DOI: 10.1007/978-3-319-31733-5_2
12. *Jana K., Kåre K., Vladimír Š., Milan D., Radek Š.* The Kongsberg silver deposits, Norway: Ag–Hg–Sb mineralization and constraints for the formation of the deposits // *Mineralium Deposita*. 2018. V. 53, N 4. C. 531–545. DOI: 10.1007/s00126-017-0757-1
13. *Костин А.В., Зайцев А.И., Шошин В.В., Ганевев А.Ш., Лобанов С.П.* Сереброносная провинция Западного Верхоянья. Якутск: Изд-во СО РАН, 1997. 155 с.
14. *Костин А.В.* Новые данные о геологии Эндыбальского сереборудного узла (Западное Верхоянье, Якутия) // *Отечественная геология*. 2008. № 5. С. 33–42.
15. *Прокопьев А.В., Борисенко А.С., Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Трунилина В.А., Васюкова Е.А., Иванов А.И., Травин А.В., Королева О.В., Васильев Д.А., Пономарчук А.В.* Возрастные рубежи и геодинамические обстановки формирования месторождений и магматических образований Верхояно–Колымской складчатой области // *Геология и геофизика*, 2018. №10. С. 1542–1563. DOI: 10.15372/GiG20181004.
16. *Борисенко А.С., Спиридонов А.М., Изох А.Э., Прокопьев А.В., Лебедев В.И., Гаськов И.В., Зорина Л.Д., Костин А.В., Наумов Е.А., Третьякова И.Г.* Высокопродуктивные этапы базитового и гранитоидного магматизма Северной Азии, оценка их ресурсного потенциала, научное обоснование критериев прогноза и поисков крупных месторождений (Cu–Ni–Pt, Co, Au и редкие металлы) // *Проблемы минерации России (специальный выпуск электронного журнала Вестник ОНЗ РАН)*. М.: ГЦ РАН, 2012. С. 237–252. DOI: 10.2205/2012minerageny-2012.
17. *Костин А.В.* Зональность золотомедного месторождения Аркачан (Западное Верхоянье) // *Отечественная геология*. 2003. №. 6. С. 24–29.
18. *Денисов Г.В., Засимов М.Г., Окунев А.Е.* Геологическое строение и сереброносность Томпо–Делиньинской металлогенической зоны // *Серебряное оруденение Якутии: Сборник научных трудов*. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1999. С. 28–35.
19. *Костин А.В., Денисов Г.В.* Крупные благороднометалльные рудно–магматические системы Западного Верхоянья // *Отечественная геология*. 2007. № 5. С. 17–25.
20. *Ивенсен Ю.П., Амузинский В.А., Невойса Г.Г.* Строение, история развития, магматизм и металлогения северной части Верхоянской складчатой зоны. Новосибирск: Наука, 1975. 322 с.
21. *Крылова В.В., Кичигин Л.Н.* Амальгамы серебра – основной рудоконцентрирующий минерал серебро–полиметаллического месторождения Якутии // *Тез. докл. год. сессии МО ВМО «Прикладные и экологические аспекты минералогии»*. М.: 1991. С. 135.
22. *Амузинский В.А., Андрианов Н.Г., Жданов Ю.Я., Лескова Н.В.* Природная амальгама серебра рудопроявления Хачакчанское (Мезозойды Западного Верхоянья) // *Редкие самородные металлы и интерметаллиды коренных и россыпных месторождений Якутии*. Якутск: ЯНЦ СО РАН. 1992. С. 69–77.
23. *Бабич А.П., Крылова В.В., Тихомиров А.В.* Новый тип серебросодержащих руд Восточного Верхоянья // *Руды и металлы*. 1993. № 3–6. С. 65–72.
24. *Костин А.В., Желонкина М.С., Саввинова Л.А.* Благороднометалльная минерализация Эндыбальской рудной горы (Западное Верхоянье, Россия) // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2018. Т. 26, № 4. С. 31–45. DOI 10.31242/2618-9712-2018-26-4-30-44.

25. Третьяков Ф.Ф., Прокопьев А.В., Васильев Д.А. Тектонические структуры Мангазейского рудного узла (Западное Верхоянье, Восточная Якутия) // Отечественная геология. 2008. № 5. С. 42–49.

26. Константинов М. М., Костин А. В., Сидоров А.А. Геология месторождений серебра // Якутск: Сахаполиграфиздат, 2003.

References

1. Prokopiev V.S., Urzov A.S., Budeleeva S.Sh. et al. Geological map of Yakutia. West-Verkhoyansk block. Scale 1: 500000. SPb.: Kartfabrik VSEGEI, 1999, 19 p.

2. Páez G.N., Ruiz R., Guido D.M., Jovic S.M., Schalamuk I.B. Structurally controlled fluid flow: High-grade silver ore-shoots at Martha epithermal mine, Deseado Massif, Argentina // Journal of Structural Geology. 2011. V. 33, N 5. P. 985–999. DOI: 10.1016/j.jsg.2011.02.007

3. Hossein Kouhestani, Majid Ghaderi, Khin Zaw, Sebastien Meffre, Mohammad Hashem Emami. Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold–silver deposit in the Tethyan belt of Iran // Mineralium Deposita. 2012. V. 47, N 4. P. 425–440. DOI: 10.1007/s00126-011-0382-3

4. Fontboté L. Ore Deposits of the Central Andes // Elements. 2018. V. 14, N 4. P. 257–261. DOI: 10.2138/gselements.14.4.257

5. McPhie J., Cas R. Volcanic successions associated with ore deposits: Facies characteristics and ore–host relationships // The Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press, 2015. P. 865–879. DOI: 10.1016/B978-0-12-385938-9.00049-3

6. Monteiro L.V.S., Roberto Perez Xavier, Murray W. Hitzman, Caetano Juliani, Carlos Robertode Souza Filho, Emerson de R. Carvalho. Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil // Ore Geology Reviews. 2008. V. 34. №. 3. Pp. 317–336. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2008.01.003

7. Bertelli M., Baker T. A fluid inclusion study of the Suicide Ridge breccia pipe, Cloncurry district, Australia: Implication for breccia genesis and IOCG mineralization // Precambrian Research. 2010. V. 179, N 1–4. P. 69–87. DOI: 10.1016/j.precamres.2010.02.016

8. David I.G., Frank P.B., Lawrence D.M., Murray W.H. Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through Earth history: Implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits // Economic Geology. 2010. V. 105, N 3. P. 641–654. DOI: 10.2113/gsecongeo.105.3.641

9. Hunt J. A., Baker T., Thorkelson D. J. Wernecke Breccia: Proterozoic IOCG mineralised breccia system, Yukon, Canada // Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective-Advances in the Understanding of IOCG Deposits. 2010. P. 345–356.

10. Cristiana L.C., Benjamin P. Wade Nigel J. Cook, Andreas Schmidt Mumm, David G. Uranium-bearing hematite from the Olympic Dam Cu–U–Au deposit, South Australia: A geochemical tracer and reconnaissance Pb–

Pb geochronometer // Precambrian Research. 2013. V. 238. P. 129–147. DOI: 10.1016/j.precamres.2013.10.007

11. Levresse G. et al. Degassing as the main ore-forming process at the giant imiter Ag–Hg vein deposit in the Anti-Atlas Mountains, Morocco // Mineral Deposits of North Africa. Springer, Cham, 2016. P. 85–106. DOI: 10.1007/978-3-319-31733-5_2

12. Jana K., Kåre K., Vladimír Š., Milan D., Radek Š. The Kongsberg silver deposits, Norway: Ag–Hg–Sb mineralization and constraints for the formation of the deposits // Mineralium Deposita. 2018. V. 53, N 4. C. 531–545. DOI: 10.1007/s00126-017-0757-1

13. Kostin A.V., Zaitsev A.I., Shoshin V.V., Ganeev A.S., Lobanov S.P. Silver province of West Verkhoyanye. Yakutsk: SO RAN, 1997. 155 p.

14. Kostin A.V. New data on geology of Endybal silver cluster (West Verkhoyanye, Yakutia) // Otechestvennaya geologia. 2008. N 5. P. 33–42.

15. Prokopiev A.V., Borisenko A.S., Gamyarin G.N., Pavlova G.G., Fridovsky V.Yu., Kondrat'eva L.A., Anisimova G.S., Trunilina V.A., Ivanov A.I., Travin A.V., Koroleva O.V., Vasiliev D.A., Ponomarchuk A.V. Age constraints and tectonic settings of metallogenic and magmatic events in the Verkhoyansk–Kolyma folded area // Russian Geology and Geophysics. 2018. 59 (2018) P. 1237–1253. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.09.004.

16. Borisenko A.S., Spiridonov A.M., Izokh A.E., Prokopiev A.V., Lebedev V.I., Gas'kov I.V., Zorina L.D., Kostin A.V., Naumov E.A., Tret'yakova I.G. Highly productive stages of basite and granitoid magmatism in North Asia, assessment of their resource potential, scientific substantiation of criteria for prediction and search of large deposits (Cu–Ni–Pt, Co, Au and rare metals). Minerageny problems of Russia Publ. GC RAS Moscow, 2012. 534 p. DOI: 10.2205/2012minerageny-2012.

17. Kostin A.V. Zoning of Arkachan copper-gold deposits (West Verkhoyanye) // Otechestvennaya Geologiya. 2003. N 6. P. 24–29.

18. Denisov G.V., Zasimov M.G., Okunev A.E. Geological structure and silver of the Tompo-Dilin'inskii metallogenic zone // Silver mineralization of Yakutia: Collection of scientific papers. Yakutsk: YCC SB RAS, 1999. P. 28–35.

19. Kostin A.V., Denisov G.V. Major precious-metal ore-magmatic systems of the Western Verkhoyanie // Otechestvennaya Geologiya. 2007. N 5. P. 17–25.

20. Ivensen Y.P., Amuzinskiy V.A., Nevoisa G.G. Structure, history of development, magmatism and metallogeny of the Northern part of the Verkhoyansk folded zone. Novosibirsk: Science, 1975. 322 p.

21. Krylova V.V., Kichigin L.N. Amalgams of silver – the main ore-concentrating mineral of silver-polymetallic deposits of Yakutia // Abstracts of the annual session of WMO MO «Applied and environmental aspects of Mineralogy». M., 1991. P. 135.

22. Amuzinskiy V.A., Andrianov N.G., Zdanov Y.Ya., Leskova N.V. Natural amalgam of silver ore manifestation Khachachchansky (Mesozoic Western Verkhoyanie) // Rare

РУДНЫЕ БРЕКЦИИ – КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ ГЕНЕЗИСА МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЕБРА И ЗОЛОТА

native metals and intermetallides of lode and placer deposits of Yakutia. Yakutsk: YNC SB RAS, 1992. P. 69–77.

23. Babich A.P., Krylova V.V., Tikhomirov A.V. A new type of silver-bearing ores of Eastern Verkhoyanye // Ores and metals. 1993. N 3–6. P. 65–72.

24. Kostin A.V., Zhelonkina M.S., Savvinova L.A. Hosting precious metal mineralization of the Endybal Ore Mountain // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2018. V. 26, N 4. P. 31–45. DOI 10.31242/2618-9712-2018-26-4-30-44

25. Tret'yakov F.F., Prokopiev A.V., Vasiliev D.A. Tectonic structures of Mangazeiskoe ore cluster (Western Verkhoyanye, Eastern Yakutia) // Otechestvennaya Geologiya. 2008. N 5. P. 42–49.

26. Konstantinov M.M., Kostin A.V., Sidorov A.A. Geology of silver deposits. Yakutsk: sakhapoligraphizdat, 2003.

Поступила в редакцию 25.03.2019

Принята к публикации 25.05.2019

Об авторе

КОСТИН Алексей Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-5778-6505>, kostin@diamond.ysn.ru

About author

KOSTIN Aleksey Valentinovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory, Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5778-6505>, kostin@diamond.ysn.ru

Информация для цитирования:

Костин А.В. Рудные брекции – ключ к пониманию генезиса месторождений серебра и золота Западного Верхоянья // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 24, № 2. С. 21–36. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-2>

Citation

Kostin A.V. Ore breccias as a key to understanding the genesis of the silver and gold deposits in Western Verkhoyanye. Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2: pp. 21–36. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-2>