

ЗОЛОТОЕ И МЕДНО-МОЛИБДЕН-ПОРФИРОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ БУМБАТСКОГО РУДНОГО УЗЛА И ЕГО СВЯЗЬ С РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИМ МАГМАТИЗМОМ ОЗЕРНОЙ ЗОНЫ (*Западная Монголия*)

А.С. Борисенко^{1,2}, И.В. Гаськов^{1,2}, В.В. Бабич¹, А.А. Боровиков¹

¹Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

По данным геологических, минералого-геохимических исследований медного и золотого оруденения, проявленных в Бумбатском рудном районе Монголии, установлено, что они связаны с разновозрастными магматическими образованиями, сформировавшимися в различных геодинамических и геолого-геохимических условиях.

Медные рудопроявления (участки 98 и Алтан-Гадас) с возрастом 518.0 ± 4.9 млн лет схожи по своим минералого-геохимическим характеристикам и сформировались, вероятно, в связи со становлением штоков плагιοгранит-порфиров позднеостроводужного этапа (524.5 млн лет). Рудоотложение происходило из слабоконцентрированных растворов с низким содержанием CO_2 при температурах 240—230 °C в близповерхностных условиях. Связь оруденения с плагιοгранитами, преимущественно жильная форма выделения и существенно-медный состав руд с повышенным содержанием Zn, Mn, Ba, а в отдельных пробах Ag и Bi дают основание предварительно отнести эти проявления к жильной кварцево-сульфидной формации, промышленную значимость которых еще предстоит оценить.

Золоторудная минерализация (участки Три Холма и Дарби) сформировалась в более позднее время (455.9 ± 4.3 млн лет) и связана со становлением заключительных фаз гранитоидов аккреционно-коллизийного этапа (511—465 млн лет). Оруденение участков представлено минерализованными зонами дробления, сложенными гидротермально измененными породами серицит-кварцевого состава с прожилково-вкрапленной (штокверковой) сульфидной минерализацией и золотоносными кварцевыми жилами. Содержания золота в рудах варьирует от десятых долей до десятков г/т, а его пробность изменяется от 700 до 1000 ‰. В рудах обоих участков установлены повышенные концентрации Cu, Zn, Mn, Ba, а в отдельных пробах Mo. Оруденение сформировалось в приповерхностных условиях при средних температурах (230—300 °C) из гидротермальных растворов с концентрацией солей от 9.5 до 12 мас. % NaCl-экв. Все отмеченные признаки золоторудной минерализации изученных участков отвечают фланговым зонам месторождений Cu-(Mo)-порфировой формации.

Золотое оруденение, медное оруденение, магматизм, Монголия, Бумбатский район

GOLD AND PORPHYRY Cu–Mo MINERALIZATION OF THE BUMBAT ORE CLUSTER AND ITS RELATIONSHIP WITH THE EARLY PALEOZOIC MAGMATISM OF THE LAKE ZONE (*Western Mongolia*)

A.S. Borisenko, I.V. Gas'kov, V.V. Babich, A.A. Borovikov

Geological, mineralogical, and geochemical studies of copper and gold mineralization in the Bumbat ore district of Mongolia have shown its association with igneous rocks of different ages formed under different geodynamic, geologic, and geochemical conditions.

Copper ore occurrences (site 98 and Altan Gadas site) with an age of 518.0 ± 4.9 Ma have similar mineralogical and geochemical features and seem to be related to plagiogranite-porphyry stocks formed at the late island arc stage (524.5 Ma). The ores were deposited from weakly concentrated solutions with a low content of CO_2 at 240–230 °C under subsurface conditions. The association of mineralization with plagiogranites, its localization predominantly in veins, and essentially copper composition with high contents of Zn, Mn, Ba, and, in some samples, Ag and Bi permit us to assign this mineralization to the vein quartz–sulfide type. Its commercial value has yet to be assessed.

Gold mineralization of the Three Hills and Darvi sites formed later (455.9 ± 4.3 Ma), during the formation of the final granitoid phases at the accretion–collision stage (511–465 Ma). These sites are mineralized crushing zones composed of hydrothermally altered rocks of sericite–quartz composition with veinlet and disseminated (stockwork) sulfide mineralization and gold-bearing quartz veins. The content of gold in the ores varies from tenths to tens of ppm, and its fineness varies from 700 to 1000 ‰. The ores of both sites have high contents of Cu, Zn, Mn, Ba, and, in places, Mo. Mineralization formed from hydrothermal solutions with TDS = 9.5–12.0 wt. % NaCl eq. at medium temperatures (230–300 °C) under subsurface conditions. The above specific features of gold mineralization are typical of the flank zones of porphyry Cu–(Mo) deposits.

Gold mineralization, copper mineralization, magmatism, Mongolia, Bumbat ore district

ВВЕДЕНИЕ

Озерная зона Западной Монголии является одним из наиболее перспективных регионов на Cu-Mo-(Au)-порфировое и золотое оруденение. Она сложена разновозрастными осадочно-вулканогенными и интрузивными образованиями. Детальные геологические и изотопно-геохимические исследования осадочно-вулканогенных комплексов, проведенные многими исследователями, установили в основном их докембрийский возраст (570—545 млн лет) и островодужную природу [Коваленко и др., 1996, 2004, 2005; Гибшер и др., 2001; Dergunov et al., 2001; Козаков и др., 2002; Ярмолюк и др., 2006]. Широко развитые в этой зоне интрузивные ассоциации (гранитоиды и габброиды) имеют позднепротерозойско-раннепалеозойский возраст и слагают крупные очаговые ареалы — Хиргиснурский, Харанурский и Бумбатхайрханский [Габброидные формации..., 1990; Руднев и др., 2009, 2016; Ярмолюк и др., 2011]. В пределах Озерной зоны установлен целый ряд рудных участков с Au-Cu-скарновыми, Au-Te, Cu-(Au)-порфировыми и золотосодержащим медно-колчеданным оруденением. Одним из наиболее перспективных в промышленном отношении является Бумбатский рудный узел, включающий проявления с медной (рудопроявления участков 98 и Алтан-Гадас) и золоторудной минерализацией (участки Три Холма, Дарби и Мунгэн-Обо) [Борисенко и др., 2009] (рис. 1). Этот рудный район расположен в центральной части Озерной зоны и пространственно ассоциирует с Бумбатхайрханским очаговым ареалом интрузивного магматизма [Руднев и др., 2012]. Породы этого магматического ареала прорывают вулканогенные отложения (V-Є₁) и перекрываются юрскими осадочными отложениями (J₁₋₂). Проведенные в последние годы комплексные исследования этого магматического ареала позволили установить его полихронную природу [Руднев и др., 2009, 2016]. В его составе выделяются гранитоидные и габброидные ассоциации, различающиеся по времени формирования, вещественному составу и геодинамическим обстановкам. Среди них выделяются ранние островодужные образования, включающие плагиогранитную и диорит-тоналит-плагиогранитную ассоциации и поздние интрузии аккреционно-коллизийного этапа, представленные перидотит-габброноритовой (Хайрханский массив), диорит-тоналит-плагиогранитной и граносиенит-гранитной ассоциациями.

Вместе с тем до последнего времени остается неопределенным формационный тип развитого в районе оруденения и не установлена генетическая связь выявленных в районе медных и золоторудных проявлений с магматическими образованиями. Поэтому целью настоящей статьи является детальная минералого-геохимическая характеристика выявленного оруденения, определение его рудно-формационной принадлежности и установление возможной генетической связи разных типов оруденения с проявлением конкретных магматических ассоциаций.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ БУМБАТСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Бумбатский рудный район расположен в центральной части Озерной зоны на юго-восточной оконечности хр. Бумбат-Хайрхан и приурочен к юго-восточному флангу Цаган-Шибетинского глубинного разлома, разграничивающего Монголо-Алтайскую и Озерную структурно-формационные зоны. На площади рудного района развиты преимущественно вулканогенно-осадочные отложения позднепротерозойско-раннекембрийского возраста. Стратифицированные вулканогенные образования представлены зеленокаменными измененными базальтами, андезибазальтами, андезитами и их пирокластическими разностями, а осадочная часть разреза сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, сланцами, кварцитами, известняками. В подчиненном количестве отмечаются верхнепалеозойские (D, C, P) вулканогенно-осадочные образования и терригенно-осадочные отложения мезозоя (J, K) и кайнозоя (N, P), представленные в основном конгломератами, реже песчаниками и алевролитами (см. рис. 1).

В пределах Бумбатского рудного узла широкое развитие имеют интрузивные ассоциации (гранитоиды и габброиды) проявленные в виде крупных плутонов и более мелких массивов, которые входят в состав Бумбатхайрханского очагового ареала. Изотопно-геохронологическими исследованиями установлено, что их формирование происходило в диапазоне от 550 до 465 млн лет. В этом возрастном диапазоне выделяются два этапа проявления интрузивного магматизма, отражающие различную историю развития этого сегмента Озерной зоны Западной Монголии: островодужный (550—524 млн лет) и аккреционно-коллизийной (511—465 млн лет) [Руднев и др., 2009, 2016; Ярмолюк и др., 2011].

Наиболее крупным на исследуемой территории является Бумбатхайрханский плутон, расположенный в южной части одноименного хребта. Он имеет неправильную форму и площадь около 380 км². В его составе выделяются ранняя островодужная ассоциация — плагиогранитной и диорит-тоналит-плагиогранитного состава, развитая в восточной части плутона, и поздняя перидотит-габброноритовая ассоциация (Хайрханский массив), сформировавшаяся в аккреционно-коллизийный этап [Руднев и др., 2012]. Породы плагиогранитной ассоциации, образуя крупный массив площадью около 100 км², являются самыми ранними интрузивными образованиями в этом плутоне. Плагиограниты характеризуются массивной текстурой, лейкократовым обликом и средне-, крупнозернистым строением. Интрузивные

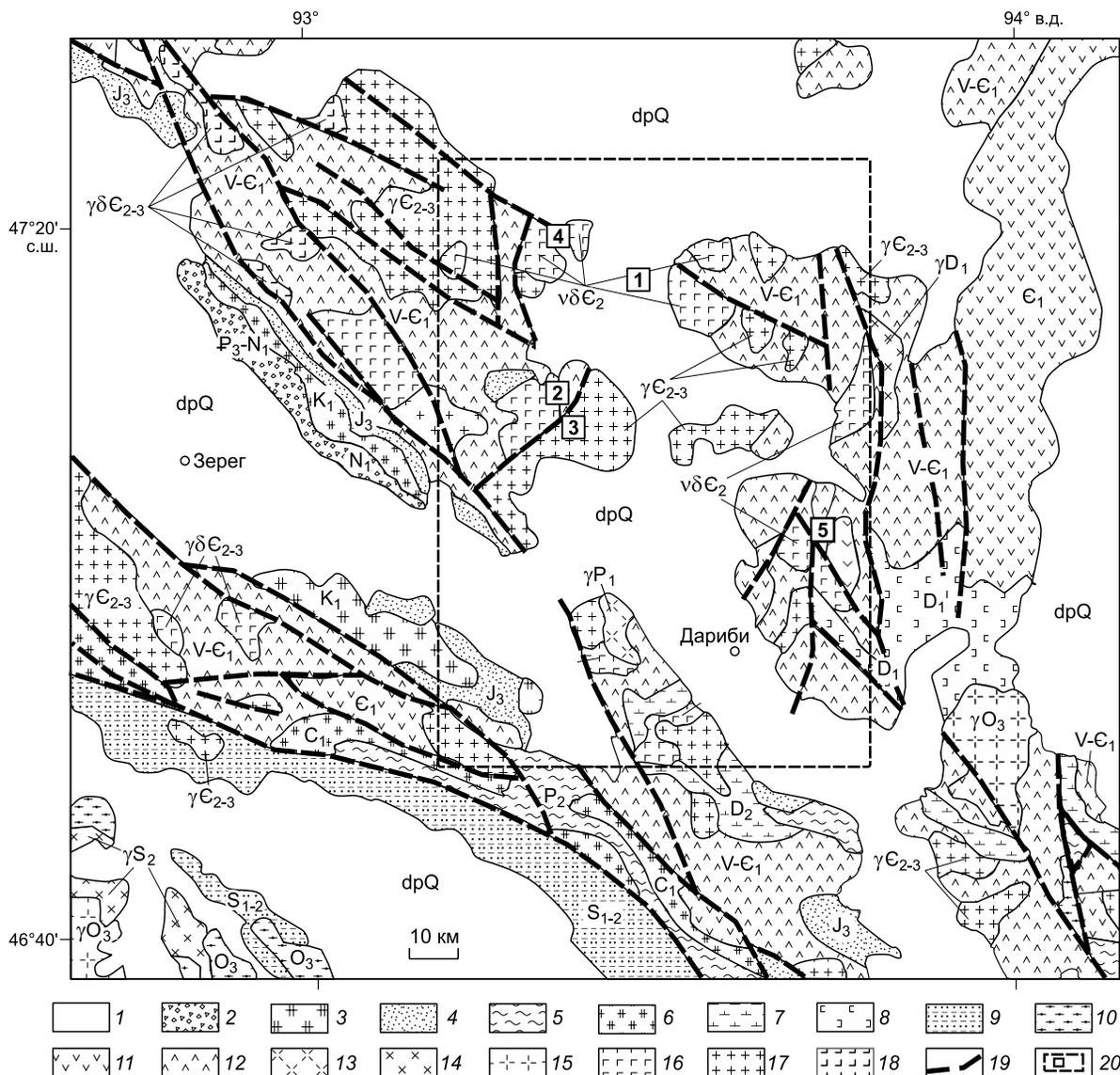


Рис. 1. Обзорная геологическая карта Бумбатского рудного узла и прилегающих территорий, составлена на основе металлогенической карты Монголии м-ба 1:1 000 000.

1 — четвертичные рыхлые отложения (dpQ); 2 — пестроцветные глины, пески, галечники (P_3-N_1); 3 — сероцветные песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, конгломераты (K_1); 4 — конгломераты, песчаники, алевролиты (J_3); 5 — андезитовые, андезитобазальтовые порфиры, риолитовые порфиры и их туфы (P_2); 6 — песчаники, алевролиты, конгломераты, известняки, углистые сланцы, угли (C_1); 7 — андезитовые порфиры, песчаники, алевролиты, конгломераты, известняки (D_2); 8 — андезитовые и дацитовые порфиры, риолитовые порфиры и их туфы, песчаники, алевролиты (D_1); 9 — песчаники, алевролиты, известняки (S_{1-2}); 10 — песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, эффузивы смешанного состава, известняки (O_3); 11 — эффузивы среднего и основного состава, песчаники, алевролиты, известняки (C_1); 12 — зеленокаменные измененные базальты, андезитобазальты, андезиты и их туфы, песчаники, алевролиты, сланцы, кварциты, известняки ($V-E_1$); 13—18 — интрузивные образования: 13 — граниты, щелочные граниты, граносиениты (γP_1); 14 — граниты, граносиениты, кварцевые сиениты (γD_1); 15 — гранодиориты, адамеллиты, граниты (γO_3); 16 — диориты, габбро-диориты, габбро, редко пироксениты ($v\delta E_2$); 17 — граниты, лейкограниты (γE_{2-3}); 18 — гранодиориты, плагииграниты, адамеллиты, граниты, тоналиты ($\gamma\delta E_{2-3}$); 19 — зоны разломов; 20 — район исследований с рудными участками: 1 — Три Холма, 2 — Дарби, 3 — 98 кадастровая точка, 4 — Мунгэн-Обо, 5 — Алтан-Гадас.

образования диорит-тоналит-плагиигранитной ассоциации имеют более поздний возраст и ограниченное развитие. Они наблюдаются лишь в северо-восточной части Бумбатхаирханского плутона в виде небольших массивов. В строении ассоциации выделяются две интрузивные фазы: I — мелкозернистые биотит-амфиболовые кварцевые диориты, встречающиеся в виде ксенолитов в породах второй фазы, и II — среднезернистые, иногда порфировидные амфибол-биотитовые и биотитовые плагииграниты и плагиигранит-порфиры, образующие штокообразные тела иногда с золотосульфидной минерализацией

[Борисенко и др., 2009]. Поздняя перидотит-габброноритовая ассоциация Хаирханского массива локализована в центральной и западной частях Бумбатхаирханского полихронного плутона.

Кроме того, в рудном районе выделяется ряд небольших интрузивных тел основного и кислого состава, расположенных в западной части урочища Баяны-Цаганы-Нуру, одним из которых является массив Три Холма, выходы которого в современном эрозионном срезе наблюдаются в виде трех небольших холмов среди четвертичных отложений. В составе массива развиты в основном плагиограниты и меньше амфиболовые кварцевые диориты и биотит-амфиболовые тоналиты. Породы массива разбиты многочисленными пегматоидными кварц-полевошпат-серицитовыми и кварцевыми жилами с сульфидной (пирит, халькопирит, борнит, молибденит) и золоторудной минерализацией [Борисенко и др., 2009].

ОРУДЕНЕНИЕ БУМБАТСКОГО РУДНОГО РАЙОНА И ЕГО ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ

В пределах Бумбатского рудного района промышленных рудных залежей не установлено. Выявлены лишь небольшие медные и золоторудные проявления, последние из которых имеют перспективы после детальных геолого-разведочных работ стать промышленно значимыми месторождениями.

Медное оруденение в рассматриваемом районе выделяется в трех разновозрастных жильных минеральных ассоциациях. Наиболее ранняя из них представлена пегматоидными шширами и жилами, сложенными крупнокристаллическими калишпатом, кварцем и мусковитом. В зальбандах пегматоидных жил отмечаются зонки с графическими сростаниями кварца, калишпата и вкрапленностью халькопирита. Вторая ассоциация сложена жилами кварца с серицитом, халькопиритом, борнитом, пиритом и магнетитом. В жилах такого типа установлены повышенные содержания Мо (до 100 г/т) и Au (до 0.2 г/т). И наиболее позднюю ассоциацию слагают кварц-карбонатные жилы с пиритом, халькопиритом и небольшой примесью низкопробного золота (600—722 ‰) с примесью ртути (Hg = 2.5—4.6 ‰). Наиболее детально медные проявления изучены на двух участках рудного узла: участок 98 и участок Алтан-Гадас (см. рис. 1).

Участок 98 хорошо проявлен в поверхностных условиях исследуемой территории. Он занимает площадь около 5 км² в пределах плагиогранитного массива Бумбатхаирханского плутона и включает более 40 кварцевых жил и жильных зон. Протяженность жил и зон варьирует в пределах от 60 до 600 м при мощности от первых сантиметров до 10 м. Жилы имеют субмеридиональное простирание (10—20°) и крутое (до 80°) северо-западное падение. Рудная медная минерализация в этих жилах представлена халькопиритом, борнитом, ковеллином и продуктами их окисления — малахитом и азуритом. Сульфидная медная вкрапленность и вторичная медная минерализация наблюдаются также во вмещающих жилах гранитах, которые на контакте с жилами интенсивно мусковитизированы и калишпатизированы. Кроме описанных жил на участке также отмечаются более поздние немногочисленные маломощные (до 10 см) жилы молочно-белого кварца с простиранием 320° и падением на юго-запад под углом 50°. В них также отмечается бедная халькопирит-борнитовая минерализация. Содержания рудных минералов в разных типах кварцевых жил изменяются в широких пределах — от 2—3% до сливных медных руд с содержанием до 80%. Среди медьсодержащих сульфидов преобладают борнит (~65%), халькозин (~25%), ковеллин (~10%), халькопирит (~5%). В отдельных жилах преобладает халькопирит. В приповерхностных условиях в жилах постоянно присутствуют малахит, азурит, магнетит, гематит и гидроксиды железа. По данным атомно-абсорбционного анализа в единичных пробах сульфидно-кварцевых жил установлены повышенные содержания золота — до 0.38 г/т (табл. 1). Золото, по данным рентгено-спектрального анализа на микрозонде Camebax, имеет разный состав: низкопробное (Au = 708 ‰) золото с повышенным содержанием серебра и ртути и высокопробное (Au = 902 ‰) золото (табл. 2). В целом рудная минерализация сульфидно-кварцевых жил наряду с медью и золотом характеризуется повышенными содержаниями Zn, Mn, Ba, а в отдельных пробах Ag и Bi (табл. 3). Состав сульфидов отвечает стехиометрии, и содержания элементов-примесей в них отмечаются на пределе чувствительности микрозондового анализа (табл. 4). На уровне десятых долей процента установлены лишь содержания Ag в борните.

Изучение флюидных включений в кварце жил участка показало, что температура гомогенизации первичных газовой-жидких включений варьирует в узком интервале 240—230 °С. Концентрация растворов не превышает 5.2 мас. % NaCl-экв. Давление флюида во включениях при данной температуре их гомогенизации не превышает 300—250 бар [Gas'kov et al., 2010], т. е. по физико-химическим условиям формирования эти проявления относятся к близповерхностным среднетемпературным образованиям.

Участок Алтан-Гадас представлен мощной протяженной кварцево-жильной зоной в горном хребте Их-Цахир (см. рис. 1). Зона шириной 30—35 м трассируется среди верхнепротерозойско-нижнекембрийских рассланцованных, а иногда и окварцованных аргиллитов и песчаников с прослоями известняков. Она представлена серией субпараллельных вертикально падающих кварцевых жил с сульфидной и оксидной медной минерализацией и прослеживается в северо-западном направлении (320°) примерно на 1 км. Основная масса кварцевых жил, достигающих по мощности 1 м, сложена молочно-белым мас-

Таблица 1. Содержание золота и серебра в рудах месторождений Бумбатского рудного узла (г/т)

Месторождение, рудопроявление	Число проб	Содержание Au			Содержание Ag		
		макс.	мин.	среднее	макс.	мин.	среднее
Участок 98	19	0.38	0.006	0.14	85.6	0.32	15.66
Участок Алтан-Гадас	4	0.015	0.002	0.007	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Участок Три Холма: измененные породы кварцевые жилы	61	86	0.3	2.96	6.60	0.06	1.81
	6	94	3.39	48.7	18.0	4.2	11.1
Участок Дарби: измененные породы кварцевые жилы	38	608	0.51	99.03	Не обн.	Не обн.	Не обн.
	7	119	11.4	51.7	15.2	9.1	10.7

Таблица 2. Средние содержания элементов-примесей в самородном золоте из руд разных участков Бумбатского рудного узла (мас. %)

№ п/п	Число проанализированных знаков Au в пробе	Среднее содержание				Сумма
		Au	Ag	Hg	Cu	
Участок 98						
1	3	90.20	9.26	0.00	0.04	99.50
2	6	70.82	23.76	3.85	0.03	98.46
Участок Три Холма						
<i>Кварцево-жильный штокверк</i>						
3	10	89.30	10.96	0.00	0.01	100.27
4	6	90.08	10.23	0.00	0.01	100.32
5	6	82.68	17.79	0.08	0.00	100.55
6	4	97.85	2.55	0.02	0.00	100.42
7	8	85.36	12.63	0.03	0.00	98.02
8	5	88.90	10.48	0.05	0.01	99.44
9	2	90.01	10.45	0.07	0.01	100.54
10	12	89.04	9.60	0.02	0.00	98.66
11	16	89.63	9.32	0.03	0.01	98.99
12	5	78.73	20.81	0.01	0.00	99.55
13	12	88.15	10.38	0.03	0.02	98.58
<i>Кварцевые жилы</i>						
14	10	82.61	17.61	0.02	0.01	100.25
Участок Дарби						
15	2	95.52	4.69	0.00	0.04	100.25
16	2	90.04	8.52	0.00	0.00	98.56
17	2	88.29	9.64	0.00	0.00	97.93
18	3	86.07	11.74	0.00	0.00	97.81
19	4	89.73	10.17	0.10	0.01	100.01
20	20	96.28	4.16	0.04	0.04	100.52
21	5	98.04	0.62	0.02	0.00	98.68
22	5	98.22	0.38	0.05	0.00	98.65
23	6	96.65	3.26	0.01	0.00	99.92

сивным кварцем. Пирит-халькопиритовая минерализация, часто преобразованная в поверхностных условиях в азурит-малахитовые агрегаты с гнездами и налетами гидроксидов железа, развита в основном в краевых частях жил по трещинкам и зонкам дробления, сцементированным темным кварцем. Также в пределах кварцево-жильной зоны отмечаются самостоятельные жилы, сложенные таким же темным кварцем с пирит-халькопиритовой минерализацией. Они имеют неширокое распространение и характеризуются мощностью от нескольких сантиметров до 1 м с простиранием 20—50° и крутым падением. В

Таблица 3. Содержания элементов-примесей (г/т) в рудах медных и золоторудных проявлений Бумбатского рудного узла

№ п/п	Pb	Cu	Zn	Ag	Sn	Cr	Co	Ni	Mn	Ba	Sr	Mo	W	Bi	Tl	As	Sb	Te
Участок Алтан-Гадас																		
1	2	400	40	0.3	1	80	15	30	300	100	80	0.6	1	3	1.5	Не обн.	Не обн.	Не обн.
2	2	2000	20	0.2	1	30	5	15	200	100	20	0.8	1.5	0.5	1.5	»	»	»
Участок 98																		
3	3	>>1 %	1500	30	1.5	5	10	3	300	100	80	10	2	3	1	Не обн.	Не обн.	Не обн.
4	50	>>1 %	80	>100	1	6	3	2	300	100	80	10	1.5	1000	1	800	30	»
5	15	>>1 %	500	30	1	8	5	6	200	1000	150	15	2	5	1.5	Не обн.	Не обн.	»
6	4	5000	200	1	1.5	5	5	5	500	200	30	1.5	3	3	1.5	»	»	»
7	20	>>1 %	1000	>100	1	30	3	6	400	100	80	10	1.5	1000	1	1000	200	»
8	5	>1 %	80	2	1.5	6	5	6	2000	150	60	30	1.5	5	1.5	Не обн.	Не обн.	»
Участок Три Холма																		
<i>Кварцевые жилы</i>																		
9	6	4000	60	40	1.5	8	20	40	500	100	100	20	4	100	1.5	80	Не обн.	10
10	15	1500	30	>100	4	10	10	10	300	150	60	100	6	1000	1.5	40	»	15
<i>Кварцево-жильный штокерк</i>																		
11	8	3000	30	3	3	5	20	6	600	150	60	8	4	60	1	Не обн.	Не обн.	30
12	100	800	200	10	1.5	10	50	30	1500	100	150	50	5	1000	Не обн.	»	»	10
13	15	600	40	0.6	1.5	8	15	30	3000	150	50	3	4	50	1	»	»	Не обн.
14	2	40	200	0.2	4	200	15	50	5000	300	150	3	4	2	1	»	»	»
15	4	60	20	0.4	3	6	40	30	6000	400	150	1.5	3	10	1	»	»	»
16	3	60	40	0.06	3	50	15	20	1%	500	200	1.5	4	4	1	»	»	»
17	2	80	30	0.08	2	6	5	10	8000	200	300	0.8	3	2	1	»	»	»
18	2	60	40	0.06	5	5	10	15	5000	400	200	1	5	6	1	»	»	»
19	3	50	40	0.1	3	10	50	20	5000	300	200	1.5	4	6	1	30	Не обн.	»
20	2	50	50	0.15	3	8	50	20	4000	200	150	1	4	5	1	40	»	»
Участок Дарби (северная зона)																		
21	4	1500	50	3	1	8	15	10	300	200	80	1	1	2	1	Не обн.	Не обн.	Не обн.
22	4	500	50	0.4	1	5	40	8	300	100	60	5	2	3	1	»	»	»
23	4	50	30	10	1.5	10	50	10	100	150	80	1.5	2	30	1	»	»	150
24	4	60	20	20	1.5	10	20	30	100	150	60	8	2	15	1	30	»	100
25	100	5000	40	20	1.5	10	500	15	100	100	100	50	3	50	Не обн.	Не обн.	»	300
26	30	1500	50	15	1	10	500	20	50	100	80	100	4	30	»	»	»	200

этих кварц-сульфидных жилах содержание золота невысокое и колеблется в пределах 0.002—0.015 г/т, а концентрации элементов-примесей близки кларковым величинам (см. табл. 1, 3).

Золоторудные проявления в пределах Бумбатского рудного узла выявлены на двух участках — Три Холма и Дарби (см. рис. 1).

Участок Три Холма представляет собой небольшие по площади три холма (20 × 70, 70 × 150 и 200 × 300 м), слабовыраженные в рельефе широкой долины среди рыхлых четвертичных отложений между хребтами Бумбат-Хаирхан и Баяны-Цаганы-Нуру (см. рис. 1). Эти холмы сложены верхнепротерозойско-нижнекембрийскими осадочно-вулканогенными породами, прорванными гранит-гранодиоритами тохтогеншильского комплекса. В составе гранита установлены кварц (35—40 %), плагиоклаз и микроклин (40—45 %), биотит (10—15 %), хлорит (1—3 %), эпидот, магнетит и аксессуарные минералы сфен, рутил, циркон. Под всеми тремя холмами геофизическими методами (метод ВП-СГ) фиксируются линейно-вытянутые в субмеридиональном направлении (340—350°) аномалии протяженностью от 100 до 550 м при ширине 40—250 м (рис. 2). Бурением установлено, что данные аномалии связаны с раз-

Таблица 4. Состав главных рудных минералов медно-кварцевых и золоторудных проявлений Бумбатского рудного узла (мас. %)

Минерал	Число анализов	Среднее содержание элементов											Сумма
		Fe	Ni	Co	As	Ag	S	Te	Cu	Pb	Sb	Zn	
Участок Алтан-Гадас													
Халькопирит	1	29.66	0.02	0.04	0.00	0.04	34.31	0.02	34.72	0.00	0.00	0.07	98.88
Участок 98													
Халькопирит	1	29.26	0.02	0.04	0.00	0.00	33.89	0.00	34.47	0.00	0.00	0.02	97.67
Борнит	6	10.35	0.01	0.01	0.00	0.20	25.11	0.02	63.83	0.00	0.00	0.05	99.58
Ковеллин	1	1.09	0.00	0.00	0.00	0.06	21.49	0.01	77.55	0.00	0.00	0.07	100.27
Участок Три холма													
Пирит	54	46.18	0.07	0.13	0.00	0.03	53.11	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	99.56
Халькопирит	4	30.05	0.01	0.03	0.00	0.06	33.96	0.04	34.25	0.00	0.01	0.03	98.44
Участок Дарби													
Пирит	15	46.12	0.00	0.19	0.00	0.06	52.81	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	99.21
Халькопирит	1	28.91	0.00	0.00	0.00	0.04	34.15	0.00	33.85	0.00	0.00	0.06	97.01

витиём среди гранодиоритов зон гидротермальной проработки с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. Минерализованные зоны дробления имеют северо-западное простирание и сложены гидротермально измененными породами серицит-кварцевого состава с прожилково-вкрапленной (штокверковой) сульфидной минерализацией и отдельными золотоносными кварцевыми жилами мощностью 3—5 см. Минеральный состав метасоматитов представлен кварцем (45—50 %) и серицитом (40—45 %) с реликтами плагиоклаза и микроклина (1—2 %). Кроме того, в этих образованиях в небольших количествах (3—5 %) постоянно присутствуют карбонат, хлорит, пирит, магнетит и вкрапленность других более редких сульфидов. Рудная составляющая в породах, как правило, не превышает 1—2 % и лишь в отдельных локальных участках достигает 5—7 %, образуя штокверковое распределение. Наиболее мощный (до 60 м) кварц-сульфидный штокверк вскрыт скважинами С-3 и С-4 к северу от большого холма (см. рис. 2). По текстурному рисунку породы имеют в основном брекчиевидный облик, где мелкие (до 1 см) угловатые фрагменты гранитного состава сцементированы крупнозернистым кальцит-кварц-пиритовым агрегатом (рис. 3). Состав рудной минерализации этих зон достаточно однообразен. Наиболее широкое распространение (90—95 % от общей массы рудных минералов) имеет пирит. Он образует два морфологических типа выделений, представленных тонкой вкрапленностью изометричных зерен пирита размером в десятые и сотые доли миллиметра, которая часто развивается по периметру обломков гранита (см. рис. 3, а), и отдельными метакристаллами кубической формы размером от десятых долей миллиметра до 12 мм (см. рис. 3, б). Наряду с пиритом встречаются в небольших количествах магнетит, гематит, редкие зерна халькопирита и единичные молибденита. При исследовании на электронном микроскопе выявлены единичные мелкие выделения теллурида висмута в виде включений в пирите в ассоциации с золотом и халькопиритом (рис. 4). Также установлены мелкие рудные образования, которые, по данным рентгеноспектрального анализа, относятся к висмутосодержащим минералам различного состава (табл. 5). Они представлены самородным висмутом, теллуридом висмута и сульфидами сложного состава, включающими в качестве катионов наряду с висмутом свинец и медь. Зоны, обогащенные кварц-сульфидными прожилками, несут золоторудную минерализацию, часто с видимым золотом. Содержание золота варьирует в пределах 0.3—86.0 г/т (среднее 2.96 г/т), а прощность изменяется от 706 до 1000 ‰, составляя в среднем 882 ‰ (см. табл. 1, 2).

Золотоносные кварцевые жилы мощностью 0.1—0.5 м установлены на всех трех холмах, а наиболее крупная из них мощностью 0.5 м выявлена на малом холме, где она прослежена на расстояние более 30 м. Все жилы имеют простирание 350—355°, что согласуется с общим простиранием гидротермально измененных зон. Состав рудной минерализации в жилах аналогичен составу вышеописанной минерализации в штокверковых зонах. Она также представлена пиритом и редко халькопиритом, иногда отмечаются теллуриды висмута, ассоциирующие с самородным золотом и халькопиритом. Самородное золото установлено в самом кварце, в пирите, а также среди гидроксидов железа, развитых по пириту (рис. 5). Содержание золота в кварцевых жилах более высокое по сравнению с зонами минерализации и по штучным пробам варьирует от 3.39 до 94.0 г/т (среднее 48.7 г/т) (см. табл. 1). Пробность золота меняется в достаточно узком диапазоне (812—846 ‰, среднее 826 ‰), а главной его примесью является серебро (см. табл. 2). Содержания элементов-примесей в рудах штокверковых зон минерализации в кварц-сульфидных жилах имеют невысокие значения (см. табл. 3). Лишь в отдельных пробах от-

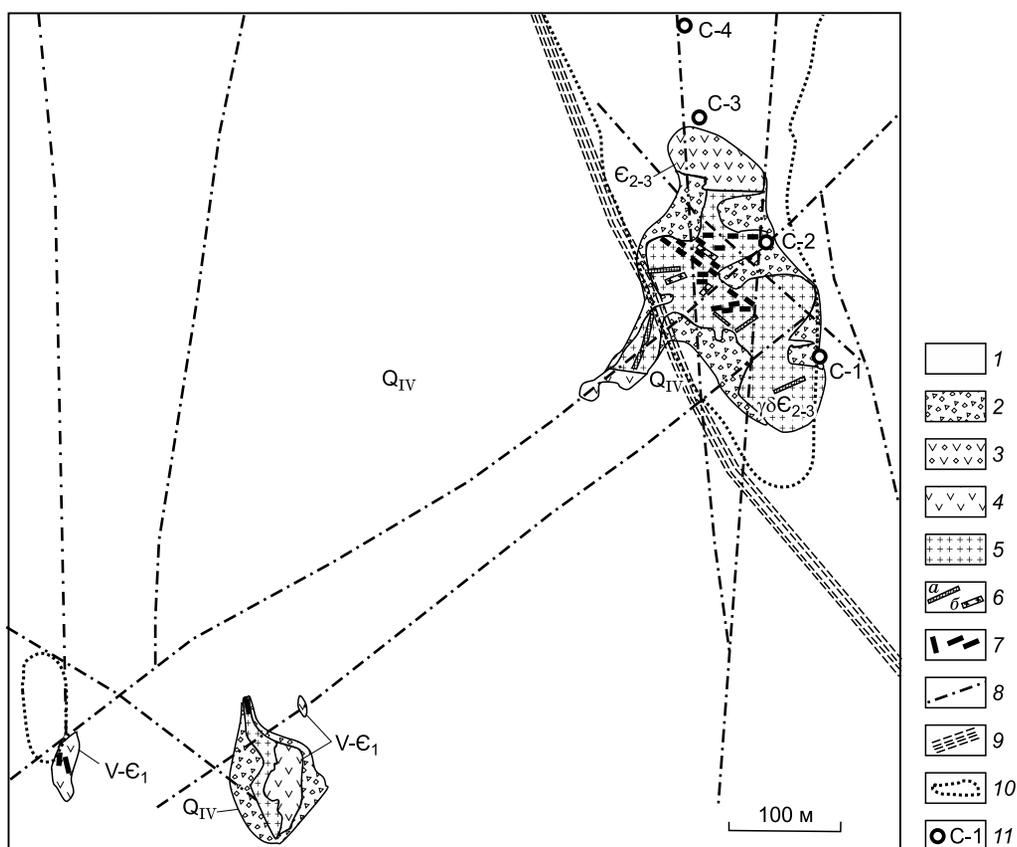


Рис. 2. Геологическая схема участка Три Холма, составлена по данным КОО «Золотой Восток — Монголия».

1 — рыхлые песчаные отложения четвертичного возраста (Q_{IV}); 2 — делювиальные отложения четвертичного возраста (Q_{IV}); 3 — эруптивная брекчия (E_{2-3}); 4 — терригенно-вулканогенные отложения ($V-E_1$); 5 — граниты, гранодиориты и плагиигранит-порфиры тохтогеншильского комплекса ($\gamma\delta E_{2-3}$); 6 — дайковые тела основного (а) и кислого (б) состава; 7 — зоны развития жильной и штокверково-жильной золотосульфидной минерализации; 8 — зоны разломов, предполагаемые по геофизическим данным; 9 — зоны расланцевания и трещиноватости; 10 — предполагаемое развитие вкрапленной сульфидной минерализации на глубине по геофизическим данным вызванной поляризации; 11 — положение скважин и их номера.

мечаются повышенные концентрации Cu, Zn, Pb, Bi и Mo, связанные, вероятно, с микровключениями их собственных минеральных фаз, которые нередко фиксируются с помощью электронного сканирующего микроскопа в более распространенных рудных минералах — пирите и халькопирите. Рентгено-спектральный анализ пирита и халькопирита из штокверковых зон и кварцевых жил показывает, что их составы близки и отвечают стехиометрии. Содержания элементов-примесей в основном за пределами чувствительности анализа и редко достигают десятых долей процента (см. табл. 4).

Для определения физико-химических условий формирования золото-сульфидно-кварцевой минерализации этого проявления было проведено изучение флюидных включений в рудоносном кварце золоторудных кварцевых жил. Исследования показали, что среди первичных газовой-жидких включений выделяются существенно-газовые и двухфазные газовой-жидкие, гомогенизирующиеся при температурах от 225 до 305 °C, в среднем 230 °C [Gas'kov et al., 2010]. В газовой фазе включений присутствует плотная (от 0.79 до 0.86 г/см³) CO₂, находящаяся в жидком состоянии при $T = 20$ °C. При температуре гомогенизации включений (230 °C), содержащих CO₂ с такой плотностью, в них развивается внутреннее давление более 170 МПа. Температура плавления CO₂ в замороженных включениях составляет –57.9 °C, что отличается от температуры плавления чистой углекислоты (56 °C) и указывает на вероятное присутствие примеси CH₄ и N₂. Хроматографический газовый анализ этих включений показал присутствие в них главным образом CO₂ и H₂O. Концентрация водно-солевого раствора флюидных включений варьирует от 9.5 до 12.9 мас. % NaCl-экв. Температура плавления эвтектики растворов включений (–22 °C) близка к температуре плавления эвтектики чистой водно-солевой системы NaCl–H₂O, это позволяет сделать вывод, что основным солевым компонентом растворов включений является NaCl.

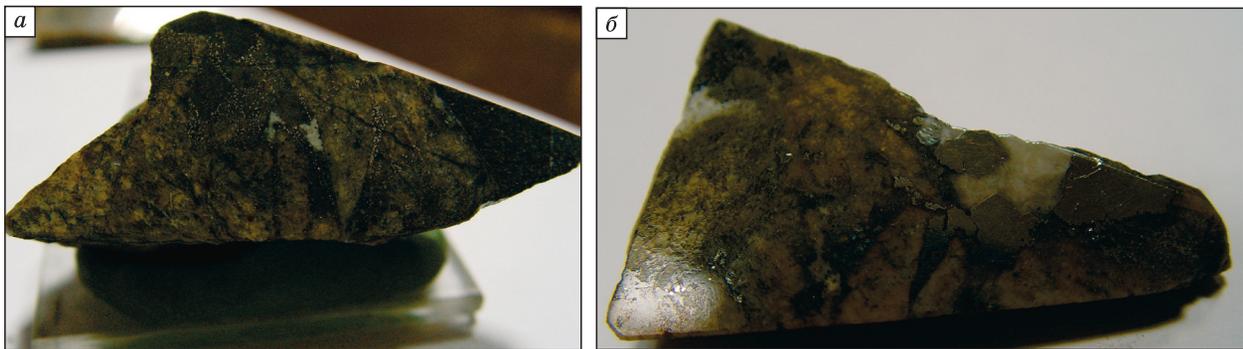


Рис. 3. Морфология рудной минерализации в брекчированных гранитах участка Три Холма:

a — тонкокристаллическая вкрапленность пирита по периферии обломков; *б* — выделения крупнокристаллического пирита кубического габитуса в межобломочном пространстве брекчированного гидротермально измененного гранита (натуральная величина).

Участок Дарби расположен в 20 км к юго-западу от уч. Три Холма в поле развития верхнепротерозойско-нижнекембрийских вулканогенно-осадочных отложений, прорванных небольшими штоками плагиогранит-порфиоров (см. рис. 1). В его пределах установлены три пространственно обособленные золотоносные зоны — Северная, Южная и Западная (рис. 6). Северная зона представлена жильно-прожилково-вкрапленной сульфидно-кварцевой минерализацией, приуроченной к экзо- и эндоконтактовой частям небольшого тела гранодиоритов. Южная зона локализуется в основном в экзоконтактовой части небольшого гранодиоритового массива, образуя среди окварцованных метавулканитов сульфидно-кварцевый линейный штокверк СВ простирания. Западная зона характеризуется наиболее масштабным проявлением оруденения и, в отличие от предыдущих зон, представлена штокверковыми телами, развитыми как среди осадочно-вулканогенных пород, так и в пределах штока гранодиоритов. Эти сульфидно-кварцевые штокверковые зоны мощностью до нескольких десятков метров погружаются на СЗ под углом 40—50° и сложены гидротермально измененными породами, развивающимися по осадочно-вулканогенным и магматическим образованиям. По составу изменений преобладает окварцевание вплоть до образования кварцитов, также широко развиты серецитизация, хлоритизация, местами скарнирование.

Рудная минерализация участка Дарби представлена в основном гнездово-вкрапленными выделениями и прожилками сульфидно-кварцевого состава. Среди сульфидов резко преобладает пирит, в небольших количествах установлены включения халькопирита и редко самородного золота. Иногда отме-

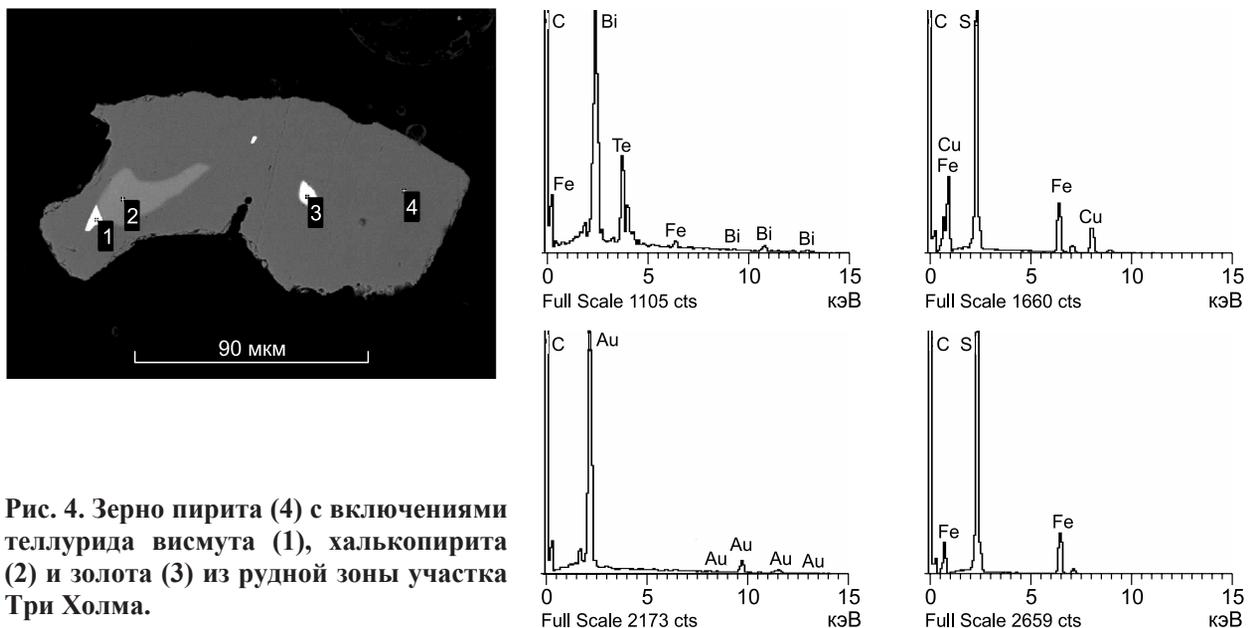


Рис. 4. Зерно пирита (4) с включениями теллурида висмута (1), халькопирита (2) и золота (3) из рудной зоны участка Три Холма.

Таблица 5. Химический состав висмутсодержащих минералов (г/т) уч. Три Холма

№ п/п	Bi	Pb	Fe	Cu	Sb	Te	S	Сумма
1	60.42	0.11	0.00	0.03	0.24	35.37	4.74	100.91
2	58.84	0.00	0.02	0.05	0.25	35.21	4.64	99.01
3	60.62	0.07	0.00	0.00	0.27	34.28	4.87	100.11
4	60.25	0.16	0.01	0.00	0.30	34.82	4.90	100.44
5	59.56	0.05	0.07	0.04	0.23	34.99	4.80	99.74
6	59.84	0.06	0.65	0.04	0.27	35.12	4.67	100.65
7	60.08	0.00	0.83	0.03	0.28	35.00	4.83	101.05
8	59.49	0.19	0.01	0.08	0.31	33.95	4.55	98.58
9	59.39	0.08	0.69	0.06	0.21	34.50	4.78	99.71
10	59.83	0.13	0.46	0.11	0.18	34.10	4.89	99.70
11	57.16	19.43	0.06	6.14	0.00	0.00	17.54	100.33
12	57.18	18.97	0.76	5.91	0.00	0.00	18.97	101.79
13	57.59	19.69	0.02	6.02	0.00	0.00	17.79	101.11
14	100.19	0.13	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	100.35
15	100.68	0.10	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	100.84
16	99.94	0.11	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	100.11

чаются отдельные зерна барита в сростании с золотом. При исследовании на электронном микроскопе выявлены тонкие выделения теллуридов и сульфидов золота и серебра в ассоциации с золотосодержащим теллуридом свинца — алтаитом (табл. 6, рис. 7). Общее содержание рудных минералов не превышает первые проценты, и лишь в отдельных интервалах скважин Западной зоны их количество доходит до 10 %. Содержание золота в зонах оруденения имеет неравномерное распределение и варьирует от десятых долей до сотен г/т (см. табл. 1). Наиболее высокие содержания золота установлены в зонах окисления сульфидной минерализации, где широко развиты специфические самородные выделения золота, представленные тонкими скелетными, ажурными и пористыми выделениями повышенной пробыности (анализы 20—23, см. табл. 2), образовавшимися, вероятно, в процессе гипергенного преобразования в зоне окисления первичных золотосульфидных и золототеллуридных выделений. На это также указывают повышенные содержания теллура в составе гидроксидов железа.

Содержания элементов-примесей в рудах рудопроявления Дарби в основном невысокие (см. табл. 3). Повышенный уровень содержаний отмечается для Te, в меньшей мере для элементов полиметаллической ассоциации (Cu, Mn, Ba, Zn) и в отдельных пробах для Co и Mo. Рентгеноспектральный анализ рудных минералов — пирита и халькопирита — показывает, что их составы отвечают стехиометрии. Содержания элементов-примесей в основном за пределами чувствительности анализа, и лишь Co в пирите достигает десятых долей процента (см. табл. 4).

Физико-химические условия формирования золотого оруденения участка Дарби определялись с помощью изучения флюидных включений в рудоносном кварце с вкрапленностью теллуридов и сульфидов золота. Основная масса этого кварца содержит многочисленные флюидные включения субмикронных размеров.



Рис. 5. Золотоносная кварцевая жила из зоны окисления участка Три Холма (натуральная величина).

Относительно крупные (10—15 мкм) двухфазные включения наблюдаются в отдельных зернах прозрачного кварца, ассоциирующих с рудными минералами. Двухфазные включения гомогенизируются при температуре 214—265 °С. При глубоком охлаждении в замерзших растворах флюидных включений образуется фаза льда, которая плавится в интервале температур от –8.6 до –10.0 °С, что указывает на общую концентрацию солей в растворах включений в диапазоне 10—12 мас. % NaCl-экв. Плавление

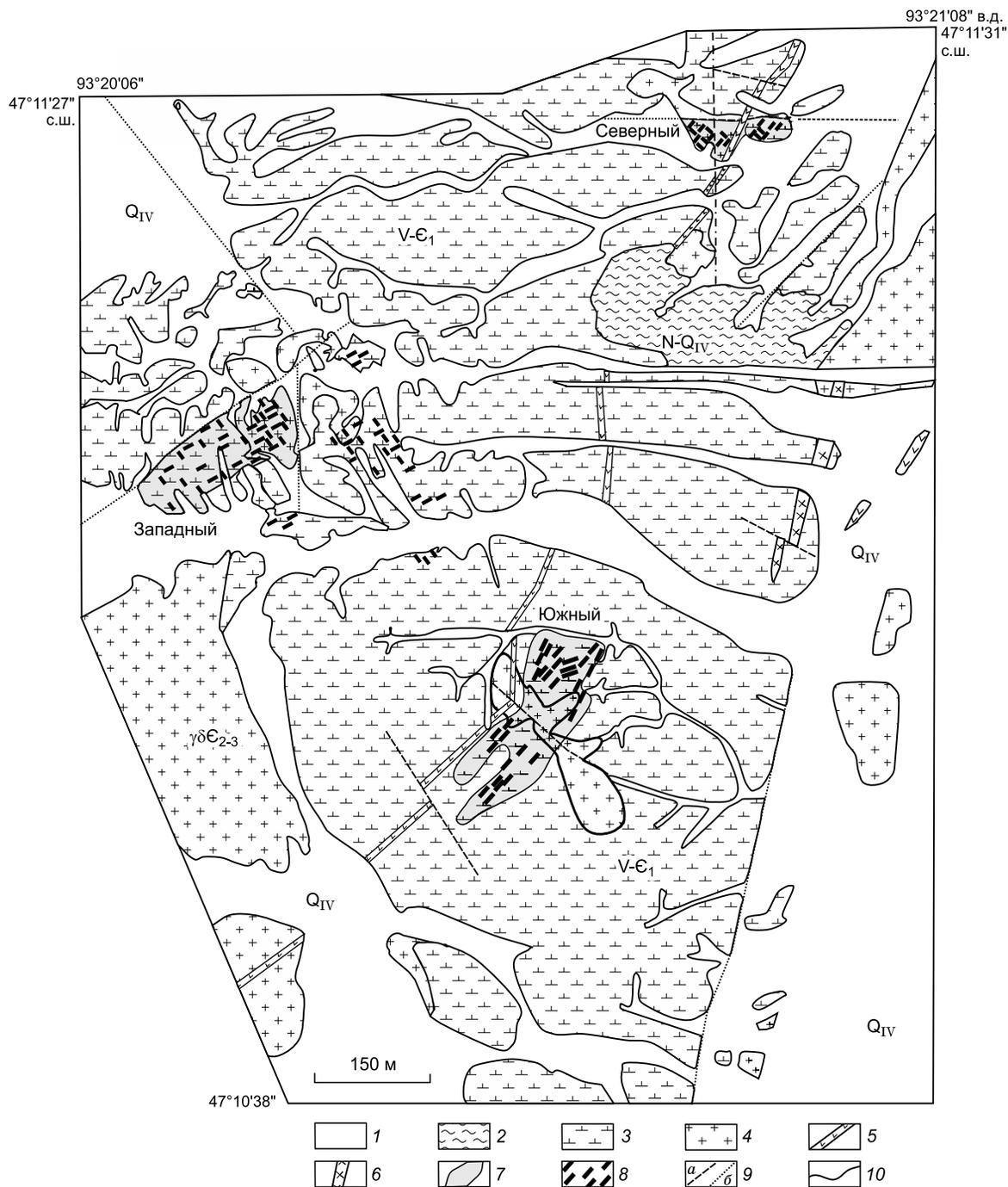


Рис. 6. Схематическая геологическая карта участка Дарби. Составлена по данным КОО «Золотой Восток — Монголия».

1 — рыхлые отложения четвертичного возраста (Q_{IV}); 2 — делювиальные и алювиальные отложения неоген-четвертичного возраста (N—Q_{IV}); 3 — зеленокаменно-измененные базальты, андезитобазальты, андезиты и их туфы с прослоями мраморизованных известняков (V—C₁); 4 — диориты, плагииграниты и плагиигранит-порфиры тохтогеншильского комплекса (γδC₂₋₃); 5 — дайковые тела основного состава; 6 — дайковые тела кислого состава; 7 — зоны гидротермально-метасоматического изменения; 8 — участки развития жильного и штокверкового золоторудного оруденения; 9 — зоны разломов: а — выявленные, б — предполагаемые; 10 — геологические границы.

Таблица 6. Химический состав теллуридов и сульфидов золота, серебра и свинца (мас. %) уч. Дарби

№ п/п	Au	Ag	Bi	Pb	Zn	Fe	Cu	Sb	S	Te	Se	Сумма
1	25.17	12.33	—	—	—	0.21	0.06	0.04	0.06	61.14	—	99.01
2	26.25	11.81	—	—	—	0.11	0.02	0.03	0.02	61.01	—	99.25
3	25.41	12.35	—	—	—	0.13	0.04	0.03	0.01	61.16	—	99.13
4	22.40	11.91	—	—	0.11	0.66	0.75	0.48	0.05	63.22	0.05	99.63
5	22.36	11.84	0.04	—	0.07	0.80	0.82	0.39	0.03	63.45	0.06	99.86
6	20.87	62.08	—	—	—	0.41	0.10	0.04	16.36	0.17	—	100.03
7	23.41	62.16	—	—	—	0.11	0.04	0.00	14.59	0.11	—	100.42
8	20.80	62.54	—	—	—	0.12	0.08	0.05	16.54	0.21	—	100.34
9	20.61	62.04	—	—	—	0.11	0.07	0.04	16.05	0.26	—	99.18
10	0.31	85.62	—	—	—	0.40	0.02	—	12.85	0.19	—	99.39
11	0.11	86.17	—	—	—	0.34	0.02	0.01	12.61	0.17	—	99.43
12	2.22	0.21	0.28	59.9	0.03	—	—	0.22	0.02	36.93	0.09	99.90
13	2.06	0.16	0.36	61.9	0.03	—	—	0.28	0.02	37.54	0.06	102.41

замороженной CO_2 , иногда присутствующей в виде жидкой фазы во флюидных включениях, происходит при -57°C , что соответствует практически чистой углекислоте без значимых примесей азота и метана. Гомогенизация CO_2 наступает при температурах $25.0\text{—}25.5^\circ\text{C}$ в газовую фазу, что соответствует плотности 0.51 г/см^3 . При температуре гомогенизации включений ($214\text{—}265^\circ\text{C}$), содержащих CO_2 с такой плотностью, флюидное давление можно оценить в 80 МПа .

Также необходимо отметить, что первое плавление замерзших растворов включений наступает при температуре $-32\text{...}-31^\circ\text{C}$, что близко к температурам плавления эвтектик водно-солевых систем NaCl , FeCl_2 , MgCl_2 , KCl [Борисенко, 1977, 1982]. В пользу присутствия хлоридов Fe и Mg говорит и характерное поведение растворов включений, при охлаждении которые переходят в аморфное стеклообразное состояние, и кристаллизация в них наступает лишь при повышении температуры до $-32\text{...}-31^\circ\text{C}$ [Боровиков и др., 2002].

ВОЗРАСТ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДНОГО И ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ И ВМЕЩАЮЩИХ ИХ МАГМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

Выявленная в Бумбатском рудном районе разного типа рудная минерализация пространственно ассоциирует с магматическими образованиями, различающимися по времени формирования, вещественному составу и геодинамическим обстановкам. Все это затрудняет однозначную интерпретацию их генетической связи, выработку поисковых критериев и оценку перспектив как самого рудного узла, так и Озерной зоны в целом. В этой связи первостепенное значение имеет определение времени формирования медного и золотого оруденения и сопоставления этих данных с возрастными датировками проявления разных типов магматизма.

Наши исследования включали $^{40}\text{Ar}\text{--}^{39}\text{Ar}$ определение возраста медного оруденения (мусковит-кварцевая жила с халькопиритом, участок 98) и золоторудной минерализации (кварц-полевошпатовый метасоматит с золотым оруденением, участок Три Холма). Также было проведено U-Pb (SHRIMP-II)

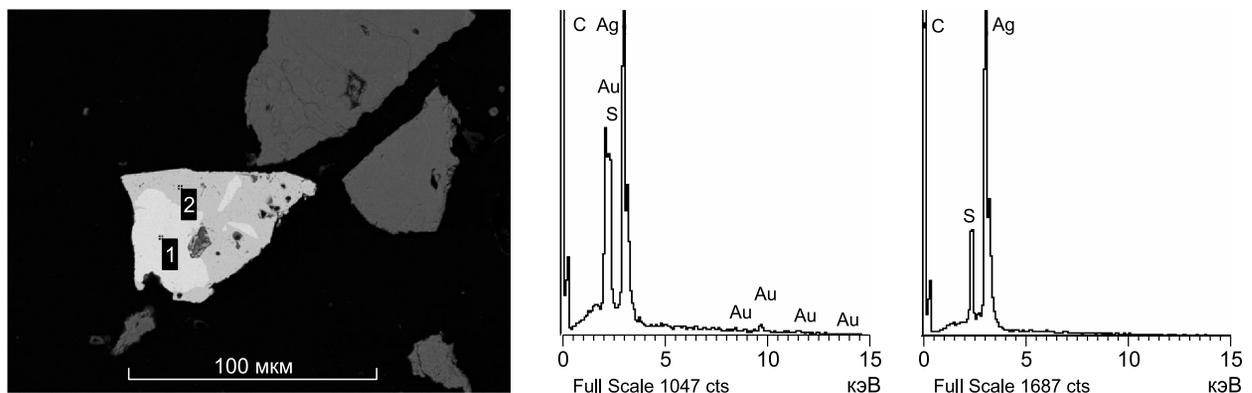


Рис. 7. Сросток золотосеребряного сульфида (1) и сульфида серебра (2) в рудах участка Дарби.

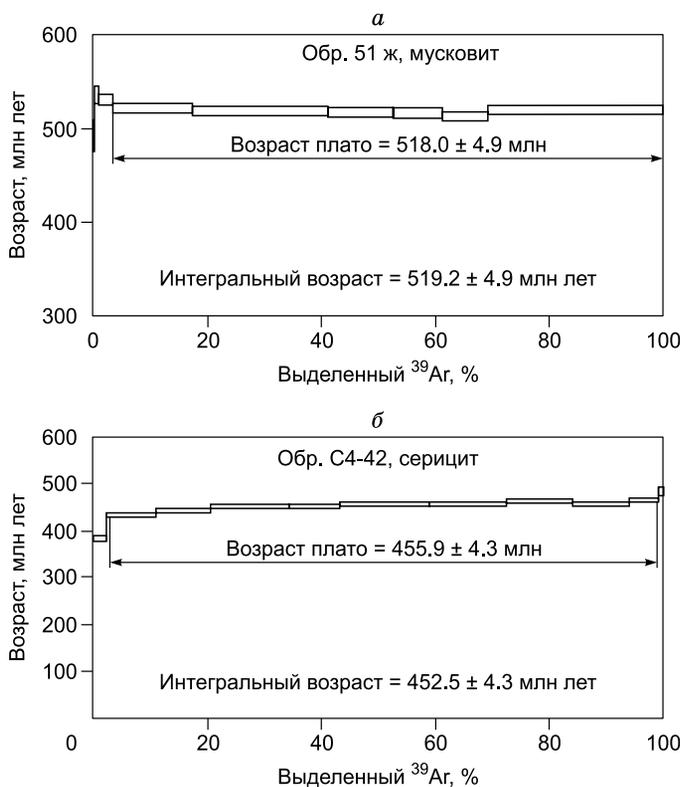


Рис. 8. ^{40}Ar - ^{39}Ar датировки возраста мусковита с медным проявлением участка 98 (а) и серицита с золотым оруденением участка Три Холма (б).

датирование цирконов из основных типов гранитоидных интрузий Бумбатского рудного узла: интрузии плагиогранитов Бумбат-хаирханского плутона, вмещающих медное оруденение, штока гранодиоритов уч. Три Холма и штока гранодиорит-порфиров уч. Дарби, локализирующих золоторудную минерализацию. U-Pb анализы выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, а Ar-Ar — в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск.

^{40}Ar - ^{39}Ar анализ крупночешуйчатого мусковита, развитого в зальбандах халькопирит-мусковит-кварцевой жилы с медным рудопроявлением участка 98, показал достаточно устойчивый возраст, составляющий 518.0 ± 4.9 млн лет (рис. 8, а). Возраст магматической породы, вмещающей эту медную минерализацию, определяли U-Pb методом по цирконам (SHRIMP-II). Исследования

проводились по прозрачным светло-розовым идиоморфным цирконам призматического габитуса из крупнозернистых биотитовых плагиогранитов, являющихся главной петрографической разновидностью Бумбатхаирханского плутона. U-Pb изотопные определения выполнены в 10 локальных точках из краевых и центральных частей кристаллов и показали средневзвешенное значение возраста 534.5 ± 5.7 млн лет (рис. 9, а).

^{40}Ar - ^{39}Ar датирование тонкочешуйчатого мусковита (серицита) из кварц-полевошпатового метасоматита с золотым оруденением, вскрытого скв. С-4 на участке Три Холма, показало возраст 455.9 ± 4.3 млн лет (см. рис. 8, б). Анализ цирконов, отобранных из массива кварцевых гранодиоритов, вмещающих это оруденение участка Три Холма, показал совершенно другие значения (см. рис. 9, б). Аналитические исследования (SHRIMP-II) были проведены по 10 локальным точкам из краевых и центральных частей прозрачных идиоморфных и субидиоморфных кристаллов циркона призматического габитуса. Из них по пяти конкордантным значениям отношения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ получен средневзвешенный возраст 551 ± 13 млн лет.

На участке Дарби были проанализированы цирконы из среднезернистых биотит-амфиболовых плагиогранитов, вмещающих золоторудную минерализацию и вскрытых скв. С-9. Аналитические исследования были проведены в 10 локальных точках центральных, промежуточных и краевых частей по восьми прозрачным и полупрозрачным розовым идиоморфным кристаллам призматического габитуса. Средневзвешенное значение возраста, полученное по шести точкам, имеющим близкие конкордантные значения изотопных $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ отношений, составляет 524.5 ± 9.8 млн лет (см. рис. 9, в).

Как видно из полученных данных, возрасты медного и золотого оруденения резко различаются между собой и не согласуются со временем образования гранитоидов, вмещающих эти типы оруденения.

Медное оруденение с датой формирования 518.0 ± 4.9 млн лет наиболее приближено ко времени становления плагиогранитов с возрастом 524.5 ± 9.8 млн лет, отвечающему островодужному этапу развития этого сегмента Озерной зоны. Возраст же золоторудной минерализации, равный 455.9 ± 4.3 млн лет, сильно отличается от времени становления островодужных магматических образований и близок по времени формирования гранитоидам заключительной стадии аккреционно-коллизийного этапа (468 ± 15 млн лет), выделенного С.Н. Рудневым с соавторами [2016] по U-Pb изотопным исследованиям (SHRIMP-II) на примере небольшого гранитоидного штока, расположенного в 20 км юго-восточнее участка Три Холма.

Таким образом, полученные данные о времени формирования медного и золотого оруденения свидетельствуют о временном их разобщении и о возможной связи соответственно с заключительными фазами островодужного и аккреционно-коллизийного этапов магматизма. Это дает возможность по-новому оценить металлогенические перспективы этого региона и выработать поисковые критерии.

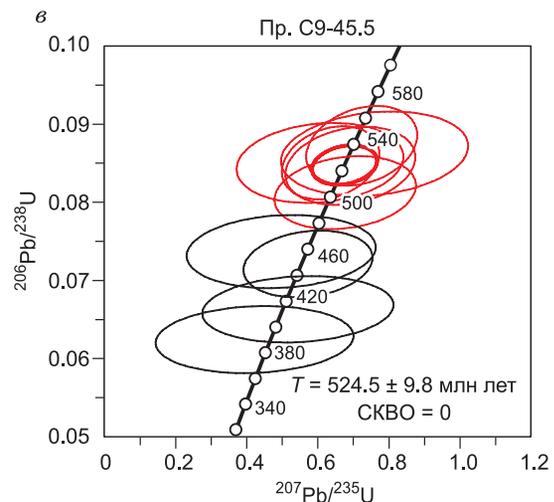
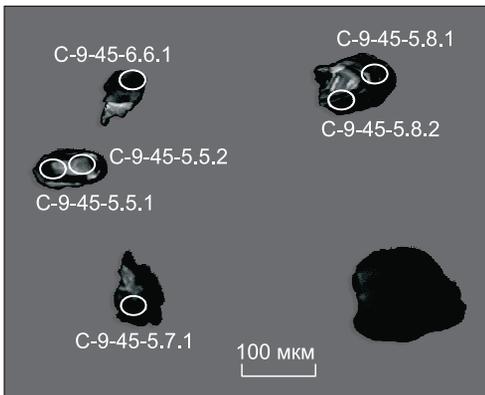
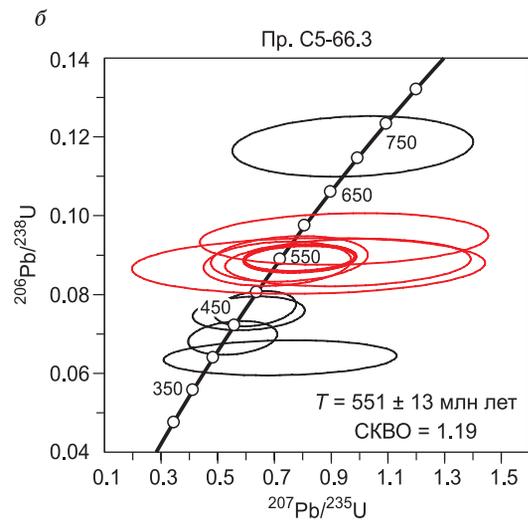
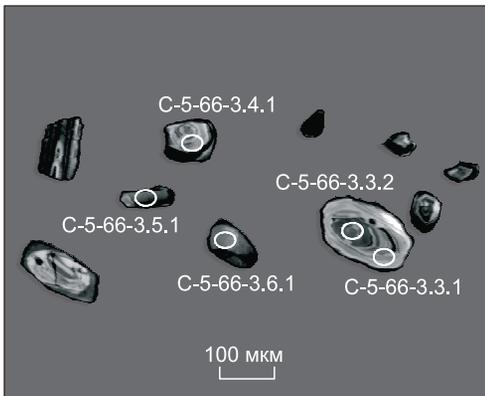
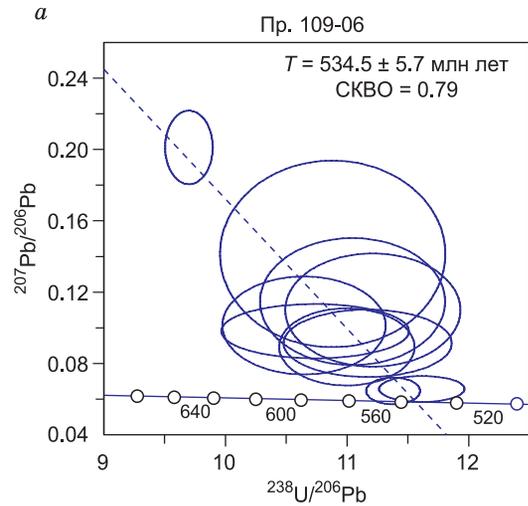
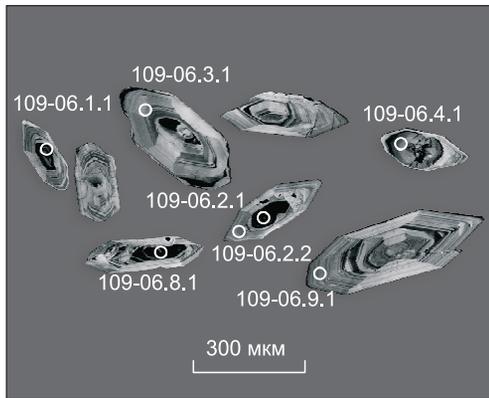


Рис. 9. Возраст цирконов:

из крупнозернистых биотитовых плагิโอгранитов, вмещающих медную минерализацию участка 98, (а); из кварцевых гранодиоритов, вмещающих золотое оруденение уч. Три Холма (б); из плагิโอгранит-порфиров, вмещающих золоторудную минерализацию уч. Дарби (в).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геохронологические и минералого-геохимические исследования медного и золотого оруденения Бумбатского рудного узла и вмещающих его магматических образований позволили установить главные их особенности.

Медные и золоторудные проявления представляют собой разновозрастные образования, сформировавшиеся в различных геолого-геохимических условиях и геодинамических обстановках.

Медные рудопоявления (участки 98 и Алтан-Гадас) по своим геолого-морфоструктурным и минералого-геохимическим характеристикам весьма схожи и могут рассматриваться как разновозрастные образования (518.0 ± 4.9 млн лет), формирование которых генетически связано со становлением островодужных плагиогранитов. Рудоотложение происходило из слабоконцентрированных растворов с низким содержанием CO_2 при температурах $230\text{—}240$ °C в близповерхностных условиях. Связь оруденения с плагиогранитами, преимущественно жильная форма выделения и существенно-медный состав руд с повышенным содержанием Zn, Mn, Ba, а в отдельных пробах Ag и Bi дают основание предварительно отнести эти проявления к жильной кварцево-сульфидной формации, промышленную значимость которых еще предстоит оценить.

Золоторудная минерализация (участки Три Холма и Дарби) сформировалась в более позднее время (455.9 ± 4.3 млн лет) и связана со становлением заключительных фаз гранитоидов аккреционно-коллизийного этапа ($511\text{—}465$ млн лет). Оруденение участков представлено минерализованными зонами дробления, сложенными гидротермально измененными породами серицит-кварцевого состава с прожилково-вкрапленной (штокверковой) сульфидной минерализацией и золотоносными кварцевыми жилами. Содержание золота в рудах варьирует от десятых долей до десятков г/т, а его пробность изменяется от 700 до 1000 ‰. В рудах обоих участков установлены повышенные концентрации Cu, Zn, Mn, Ba, а в отдельных пробах Mo. Оруденение сформировалось в приповерхностных условиях при средних температурах ($230\text{—}300$ °C) из гидротермальных растворов с концентрацией солей от 9.5 до 12.0 мас. % NaCl-экв.

Все отмеченные признаки золоторудной минерализации изученных участков можно соотнести с фланговыми зонами месторождений Cu-(Mo)-порфировой формации. По данным многих исследователей [Павлова, 1978; Сотников и др., 1979; Кривцов и др., 1985; White, Hedenquist, 1990; Sillitoe, 2010], формирование оруденения этой формации происходит в условиях небольших глубин ($P < 1500$ атм) в широком диапазоне температур ($200\text{—}450$ °C) и характеризуется многостадийностью. На ранних стадиях отлагается Cu-(Mo) минерализация в проницаемых структурах при вскипании щелочно-хлоридных высокотемпературных (> 300 °C) гидротермальных растворов, что приводит к резкому увеличению в них концентрации солей, которая часто фиксируется во флюидных включениях. В поздние стадии гидротермальные растворы щелочно-хлоридно-углекислого состава уже при более низких температурах (< 300 °C) формируют во фланговых зонах месторождений полиметаллическую или золоторудную минерализацию, развитую в кварц-серицитовых метасоматитах, что наблюдается и на изученных участках Три Холма и Дарби.

В целом последовательность проявления эндогенных событий в Бумбатском рудном узле представляется следующим образом: формирование эффузивно-осадочного комплекса (NP—E_1) → внедрение штокообразных гранодиоритов раннеостроводужного этапа (551 млн лет) → интрузия плагиогранитов островодужного этапа (534.5 млн лет) → внедрение среднезернистых биотит-амфиболовых плагиогранитов позднеостроводужного этапа (524.5 млн лет) → формирование жильной кварц-сульфидной (медной) минерализации (518 млн лет) → интрузия плагиогранитов и даек плагиогранит-порфиоров аккреционно-коллизийного этапа (468 ± 15 млн лет) → образование Cu-(Au)-порфировой минерализации (455.9 млн лет).

Отнесение изученной золоторудной минерализации Бумбатского района к Cu-(Au)-порфировой формации и установление ее связи с аккреционно-коллизийным этапом гранитоидного магматизма показывает перспективы установления ее практической значимости и дает основание предполагать возможное проявление аналогичного оруденения и в других магматических ареалах Озерной зоны, в частности, в Харанурском и Айрыгнурском плутонах, в пределах которых выделены образования этого этапа [Ковач и др., 2004; Коваленко и др., 2004; Руднев и др., 2009].

Работа выполнена по госзаданию, ИГМ СО РАН, проект 0330-2016-0001.

ЛИТЕРАТУРА

Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика, 1977 (8), с. 16—27.

Борисенко А.С. Анализ солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. М., 1982, с. 37—47.

Борисенко А.С., Гаськов И.В., Бабич В.В., Лобанов К.В., Оролма В., Изох А.Э. Этапность рудообразования Бумбатского рудного узла Озерной зоны Монголии и связь ее с оруденением // Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии «Изотопные системы и время геологических процессов». СПб., Центр информационной культуры, 2009, т. 1, с. 82—84.

Боровиков А.А., Гущина Л.В., Борисенко А.С. Определение хлоридов железа (II, III) и цинка в растворах флюидных включений при криометрических исследованиях // Геохимия, 2002, № 1, с. 70—79.

Габброидные формации Западной Монголии / Ред. В.А. Кутолин. Новосибирск, Наука, 1990, 385 с.

Гибшер А.С., Хаин Е.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Козаков И.К., Ковач В.П., Яковлева С.З., Федосеенко А.М. Поздневендский возраст хантайширского офиолитового комплекса Западной Монголии // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (8), с. 1179—1185.

Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Пухтель И.С., Стош Х., Ягутц Э., Кориковский С.П. Магматические породы и источники магм офиолитов Озерной зоны (Монголия) // Петрология, 1996, т. 4, № 5, с. 453—495.

Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Сальникова Е.Б., Карташов П.М., Ковач В.П., Козаков И.К., Козловский А.М., Котов А.Б., Пономарчук В.А., Листратова Е.Н., Яковлева С.З. Халдзан-Бурегтейский массив щелочных и редкометалльных магматических пород: строение, геохронология и геодинамическое положение в каледонидах Западной Монголии // Петрология, 2004, т. 12, № 5, с. 467—494.

Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Томуртого О., Антипин В.С., Ковач В.П., Котов А.Б., Кудряшова Е.А., Сальникова Е.Б., Загорная Н.Ю. Геодинамика и корообразующие процессы ранних каледонид Баянхонгорской зоны (Центральная Монголия) // Геотектоника, 2005, № 4, с. 55—76.

Ковач В.П., Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Терентьева Л.Б., Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. Источники и ведущие механизмы формирования и эволюции континентальной коры каледонид Центральной Азии // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск, Изд-во Института географии СО РАН, 2004, т. 1, с. 168—171.

Козаков И.К., Сальникова Е.Б., Хаин Е.В., Ковач В.П., Бережная Н.Г., Яковлева С.З., Плоткина Ю.В. Этапы и тектоническая обстановка формирования комплексов ранних каледонид Озерной зоны Монголии: результаты U-Pb и Sm-Nd изотопных исследований // Геотектоника, 2002, № 2, с. 80—92.

Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Минералого-геохимические типы руд медно-порфировых месторождений — золотоносность и зональность // Геохимия, 1985, № 10, с. 1417—1429.

Павлова И.Г. Медно-порфировые месторождения. Л., Недра, 1978, 256 с.

Руднев С.Н., Изох А.Э., Ковач В.П., Шелепаев Р.А., Терентьева Л.Б. Возраст, состав, источники и геодинамические условия формирования гранитоидов северной части Озерной зоны Западной Монголии: механизмы роста палеозойской континентальной коры // Петрология, 2009, т. 17, № 5, с. 470—508.

Руднев С.Н., Изох А.Э., Борисенко А.С., Шелепаев Р.А., Оришаши Ю., Лобанов К.В., Вишневский А.В. Гранитоидный магматизм Бумбатхайрханского ареала Озерной зоны Западной Монголии (геологические, петрохимические и геохронологические данные) // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (5), с. 557—578.

Руднев С.Н., Изох А.Э., Борисенко А.С., Гаськов И.В. Гранитоидный магматизм и металлогения Озерной зоны Западной Монголии (на примере Бумбатхайрханского ареала) // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (2), с. 265—286.

Сотников В.И., Берзина А.П., Шугурова Н.А., Моторина И.В. Физико-химические параметры процессов формирования месторождений медно-молибденовой рудной формации // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. Новосибирск, Наука, 1979, т. 1, с. 209—220.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П., Рыцк Е.Ю., Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. Ранние стадии формирования Палеоазиатского океана: результаты геохронологических, изотопных и геохимических исследований позднерифейских и венд-раннекембрийских комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса // ДАН, 2006, т. 410, № 5, с. 657—662.

Ярмолюк В.В., Ковач В.П., Коваленко В.И., Сальникова Е.Б., Козловский А.М., Котов А.Б., Яковлева С.З., Федосеенко А.М. Состав, источники и механизмы формирования континентальной коры Озерной зоны каледонид Центральной Азии: I. Геологические и геохронологические данные // Петрология, 2011, т. 19, № 1, с. 83—107.

Dergunov A.B., Kovalenko V.I., Ruzhentsev S.V., Yarmolyuk V.V. Tectonics, magmatism, and metallogeny of Mongolia. London, New York, Routledge, 2001, 288 p.

Gas'kov I.V., Borovikov A.A., Borisenko A.S. Physico-chemical conditions of ore deposition of gold-copper and copper mineralization in the Bumbat ore cluster, western Mongolia // 3rd Biennial conference of Asian

current research on fluid inclusions (ACROFI III) and 14th International conference on thermobarogeochemistry (TBG XIV). Novosibirsk, IGM, 2010, p. 62—63.

Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // Econ. Geol., 2010, v. 105, p. 3—41.

White N.C., Hedenquist J.W. Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration // J. Geochem. Explor., 1990, v. 36, p. 445—474.

*Поступила в редакцию 15 марта 2019 г.,
после доработки — 4 июня 2019 г.*