



МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД КАЛАРСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИОННО-СОРБЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОИСКА ПЕРЕКРЫТОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

А. И. Черных, М. П. Брысин, П. Н. Лейбгам, И. В. Арсентьева, С. А. Миляев

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, Москва, Россия

Представлены результаты изучения эпитермального золото-серебряного оруденения Каларского проявления (Кабурчакский рудный узел в Горной Шории), приуроченного к метасоматитам березитового и аргиллизитового составов. В них выделяются жильно-прожилковые зоны кварц-сульфидного состава. Характерная особенность проявления – широкое распространение рудных минералов (обычно 5–10 %, часто до 20 %, в отдельных случаях до 60–70 %) и большое их многообразие. Рудные минералы представлены преимущественно пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, блеклыми рудами, золотом, а также сульфидами Pb, Bi, Ag и теллуридами Au, Ag, Pb. Результаты опытно-методических работ показали высокую эффективность использования разработанного в ЦНИГРИ ионно-сорбционного метода поисков в условиях большой мощности рыхлых перекрывающих отложений. Ионно-сорбционная съемка на Каларском участке позволила выявить вторичные наложенные ореолы рассеяния As, Sb, Ag, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co. Использование ионно-сорбционного метода на северном фланге Каларского рудного поля, где широко развиты перекрывающие четвертичные отложения мощностью до 25 м, позволило выявить комплексную геохимическую аномалию (Ag, As, Cu, Pb, Zn), которая предположительно отражает северное продолжение Центральной золотоносной зоны.

Ключевые слова: золото, золото-серебряное оруденение, Каларское проявление, Горная Шория, ионно-сорбционный метод.

MINERALOGICAL FEATURES OF ORES WITHIN THE KALAR OCCURRENCE AND POSSIBILITIES OF THE ION-SORPTION METHOD FOR SEARCHING OF THE OVERLAPPED GOLD-SILVER MINERALIZATION OF THE ALTAY-SAYAN FOLDED REGION

A. I. Chernykh, M. P. Brysin, P. N. Leibgam, I. V. Arsenyeva, S. A. Milyaev

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia

The article presents results of studying the epithermal gold-silver mineralization of the Kalar occurrence of the Kaburchak ore cluster in the Mountainous Shoria (Gornaya Shoria). The Kalar occurrence is confined to metasomatites of berезite and argillite composition. They contain veined and veinlet-disseminated zones of quartz-sulphide composition. The characteristic feature of the Kalar occurrence is the wide distribution of ore minerals – usually 5–10%, often up to 20%, and in some cases up to 60–70%, and their great variety. Ore minerals are represented mainly by pyrite, arsenopyrite, sphalerite, galena, chalcopyrite, fahlores, gold, as well as by Pb, Bi, Ag sulfides and Au, Ag, Pb tellurides. The results of experimental and methodological works within the Kalar occurrence showed a high efficiency of using the ion-sorption method of prospecting developed at the Federal State Budgetary Institution (FSBI) TsNIGRI in conditions of high thickness of loose overlapping deposits. The ion-sorption survey carried out within the Kalar area made it possible to reveal secondary superimposed halos of dispersion of As, Sb, Ag, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co. The use of the ion-sorption method on the northern flank of the Kalar ore field, where overlapping Quaternary deposits up to 25 m thick are widely developed, made it possible to reveal a complex geochemical anomaly (Ag, As, Cu, Pb, Zn), which presumably reflects the northern continuation of the Central gold-bearing zone.

Keywords: gold, gold-silver mineralization, Kalar occurrence, Mountainous Shoria (Gornaya Shoria), ion-sorption method.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-3-87-99

Алтае-Саянская складчатая область (АССО) относится к «старым» горно-рудным районам, учтенная добыча россыпного золота в котором в новейшей истории ведется уже более 190 лет, а коренного – около 130 лет. Основной объем последнего добыт из жильных золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых, а также золото-скарновых месторождений. Кроме того, золото попутно добывалось

из золотосодержащих колчеданно-полиметаллических месторождений Алтая и Салаира. Несмотря на наличие отдельных относительно слабо изученных на коренное золото районов (Республика Тыва), территория АССО характеризуется высокой геологической изученностью. Большинство известных золоторудных узлов с поверхности хорошо изучены на скарновое, золото-сульфидно-кварцевое жильное

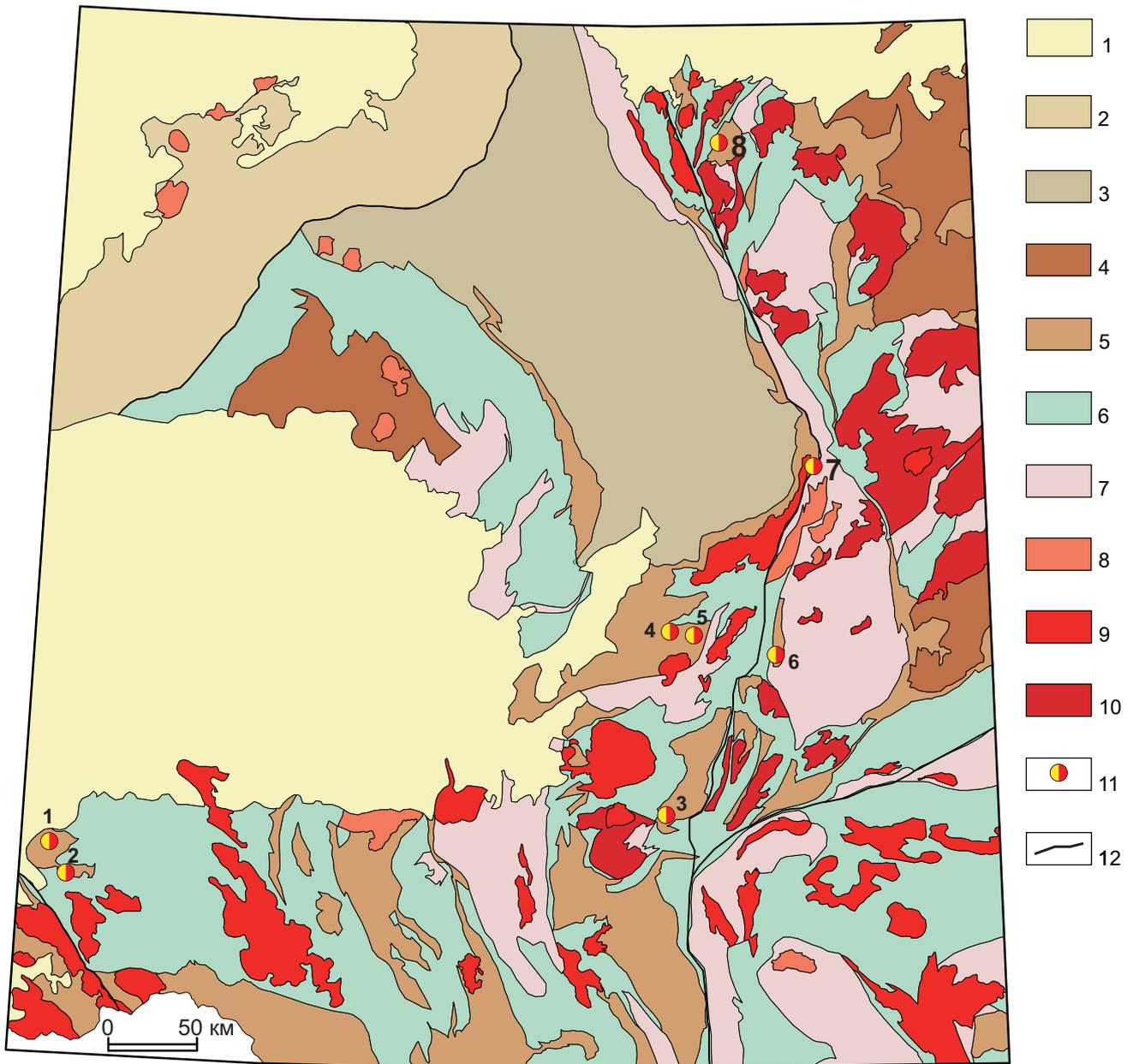


Рис. 1. Обзорная схема распространения эпитермальной золото-серебряной минерализации в западной части АССО
 1 – Западно-Сибирская плита, терригенные отложения (MZ–KZ); 2 – Обь-Зайсанская складчатая область, вулканогенно-осадочные, карбонатно-терригенные и углеродистые терригенные комплексы Колывань-Томской складчатой зоны (D–P); 3–7 – Алтае-Саянская складчатая область: 3 – угленосные карбонатно-терригенные и терригенные комплексы Кузнецкого прогиба (D–P, J), 4 – туфогенно-карбонатно-терригенные комплексы окраинных бассейнов Хмельевского, Северо- и Южно-Минусинского прогибов (D–C), 5 – осадочно-вулканогенные комплексы активных окраин (D), 6 – вулканогенно-осадочные комплексы (E–O), 7 – метаморфические (R_3) и вулканогенно-терригенно-карбонатные комплексы пассивных окраин (V); 8–10 – интрузивные комплексы: 8 – гранит-лейкогранитовый (P–J), 9 – гранодиорит-гранитовый (D–C₁), 10 – габбродиорит-гранодиорит-гранитовый и плагиогранитовый (E₁–O₃); 11 – золото-серебряные месторождения и проявления (1 – Новофирсовское, 2 – Курьинское, 3 – Ложковое, 4 – Нижнеказское, 5 – Каларское, 6 – Джелсайское, 7 – Чудиновское, 8 – Тулулюльское); 12 – главные разломы

и прожилково-жильное оруденение, и вероятность обнаружения новых рудных полей и месторождений такого типа низкая.

Перспективы прироста запасов золота в регионе связаны с тремя основными направлениями геолого-разведочных работ (ГРП). Первое – это пересчет запасов известных месторождений в связи со снижением технико-экономических кондиций и изменением морфологии рудных тел (от жильных

к штокверковым и жильно-прожилковым) на фоне растущей в последние годы цены на золото. Второе – поиск слабо изученных типов золотого оруденения (золото-сульфидно-кварцевого в кварцсерицит-анкеритовых метасоматитах, мезозойского золото-сульфидно-кварцевого, девонского эпитермального золото-серебряного, кластогенного золота в конгломератах). Третье направление связано с выявлением перекрытых месторождений золота на



основе использования новых методов и большого объема буровых работ.

Одним из слабо изученных типов золотого оруденения для региона является эпитермальное золото-серебряное оруденение, формирование которого связано с девонским этапом тектоно-магматической активизации. В западной части Алтае-Саянской минерагенической провинции (АСМП) известны месторождения и проявления эпитермальной золото-серебряной формации (Новофирсовское, Курьинское, Каларское, Джелсайское) и другие более мелкие объекты (рис. 1).

В настоящей статье приводятся новые минерало-геохимические данные изучения прогнозируемого Каларского рудного поля, полученные в результате опытно-методических работ ЦНИГРИ с использованием материалов поисковых работ СНИИГГиМС и Запсибгеолъемка (АО «Росгеология»). В результате исследований ЦНИГРИ проведена апробация ионно-сорбционного метода поисков на Каларском золото-серебряном проявлении и на его перекрытом рыхлыми отложениями северном фланге.

Золото-серебряное оруденение западной части АССО и Кабурчакского узла

Золото-серебряное оруденение западной части АССО приурочено к ранне-среднедевонским вулканогенно-осадочным породам. В отдельных случаях корневые жильные тела золото-серебряного оруденения встречаются в низезалегающих кембрийских породах, но в непосредственной близости от девонских даек (Алгаинское проявление). Девонские вулканогенно-осадочные породы образуют фрагментированный пояс и слагают несколько разобщенных прогибов и вулканотектонических структур (см. рис. 1). Рудовмещающие ранне-среднедевонские породы представлены эффузивами кислого, среднего и основного составов, туфами и туффитами с прослоями терригенных пород. Среди вулканитов характерно развитие гипабиссальных пород – штоков, даек и силлов кислого и основного составов.

Признаки золото-серебряной минерализации прослеживаются от северо-западного Алтая через Горную Шорию до севера Кузнецкого Алатау [3, 9, 10]. С запада на восток выделяются Курьинский, Кабурчакский, Кувасский, Джелсайский и Палатнинский золото-серебряные рудные узлы. В результате проведенных ранее научно-исследовательских [8, 10] и геолого-разведочных работ показано сходство золото-серебряного оруденения западной части АССО с типовыми эпитермальными объектами Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

Наименее изучена золото-серебряная минерализация Кузнецкого Алатау (Палатнинский и Кувасский узлы), лучше исследованы Горная Шория и Алтай (Курьинский, Кабурчакский и Джелсайский узлы). На основании имеющихся данных можно предположить наличие в западной части АССО

двух типов золото-серебряного оруденения – низко- (Low) и высокосульфидизированного (High sulfidation). Примером первого является Новофирсовское месторождение [3], второго – проявления Ложковое [2] и, предположительно, Каларское [8].

Анализ научно-исследовательских и геолого-разведочных работ прежних лет по изучению золото-серебряного оруденения АССО свидетельствует о наличии на некоторых объектах повышенного количества рудных минералов либо в рудах, либо во вмещающих гидротермально-метасоматических породах. Именно такие породы с минералами S, As и Sb являются благоприятными объектами для использования ионно-сорбционного метода поисков, разработанного в ЦНИГРИ [4, 6]. Среди изученных золото-серебряных проявлений западной части АССО большое количество сульфидных минералов (до 10–20 %) установлено в пределах Каларского рудного поля Кабурчакского узла.

Кабурчакский золото-серебряный узел, приуроченный к одноименной девонской вулканотектонической структуре в южной части Тельбесского прогиба, выделен при проведении ГМК-500 [7, 9]. Ранне-среднедевонские породы представлены преимущественно вулканогенно-осадочными отложениями учуленско-казанкольского комплекса ($D_{1-2}uk$), прорванными комагматическими интрузивами кистальского граносиенит-гранит-лейкогранитового комплекса (D_1k). Золото-серебряное оруденение парагенетически связано с образованиями учуленско-казанкольского субвулканического комплекса.

В пределах Кабурчакского узла золото-серебряное оруденение установлено на нескольких участках. На них распространены шлиховые потоки золота, барита, малахита, галенита в аллювиальных и делювиальных отложениях, геохимические ореолы и аномалии Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Hg, зоны сульфидизации, аргиллизитизации и березитизации, пункты минерализации и проявления Au, Ag, Pb (Каларское, Нижнеказское, Патыринское и др.).

Широкое распространение рыхлых глинистых перекрывающих неогеновых и четвертичных отложений мощностью до 20–30 м, иногда до 50 м определяет слабую изученность Кабурчакского узла на золото. Наиболее изучено Каларское рудное поле в северо-восточной части узла с разновозрастным с вулканитами оруденением – $396 \pm 3,8$ млн лет по Ar-Ar данным [8].

В пределах *Каларского золото-серебряного рудного поля* установлены Каларское золото-серебряное проявление и многочисленные геохимические аномалии по первичным и вторичным ореолам рассеяния элементов-спутников золота: серебра, мышьяка, свинца, сурьмы, висмута (рис. 2).

Стратифицированные породы в пределах проявления представляют собой нижние горизонты ниже-среднедевонской толщи (преимущественно эффузивы среднего–основного состава), которая к юго-западу перекрывается кислыми эффузивами

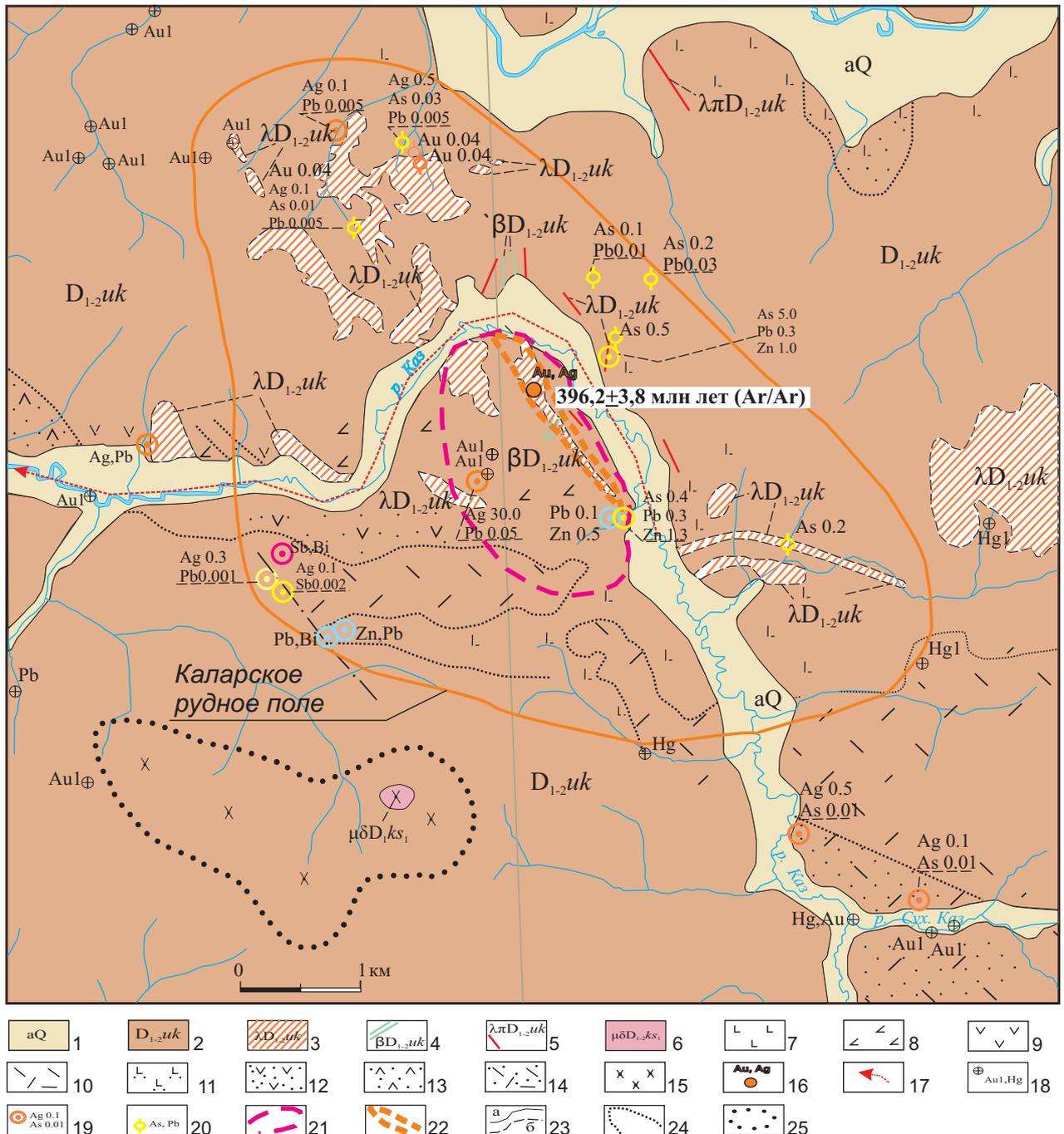


Рис. 2. Обзорная геолого-поисковая схема Каларского золото-серебряного рудного поля

1 – четвертичные аллювиальные долинные и террасовые песчано-глинисто-галечниковые отложения; 2 – ранне-среднедевонские вулканогенно-осадочные породы учуленско-казанкольской последовательности свит; 3–5 – ранне-среднедевонские породы субвулканического учуленско-казанкольского комплекса: 3 – крупные субвулканические тела риолит-порфиров и микрогранитов, 4 – дайки диабазов и базальтовых порфиров, 5 – дайки риолит-порфиров и микрогранитов; 6 – монцодиориты первой фазы кистальского граносиенит-гранит-лейкогранитового комплекса; 7–10 – эффузивы: 7 – основного состава, 8 – основного и среднего, 9 – среднего, 10 – кислого; 11–14 – туфы: 11 – основного состава, 12 – среднего, 13 – туфы смешанного, 14 – кислого; 15 – диориты и монцодиориты; 16 – Каларское проявление; 17 – шлиховые потоки золота в аллювиальных отложениях; 18 – шлиховые пробы с золотом и кинварью; 19–20 – аномалии и ореолы элементов с содержанием Au, Ag (г/т), As, Pb, Sb (%): 19 – первичные, 20 – вторичные; 21 – комплексный вторичный ореол Au, Ag, Pb, Zn, As; 22 – Центральная золотоносная зона; 23–24 – границы: 23 – геологические (а – достоверные, б – предполагаемые), 24 – фациальные; 25 – предполагаемый на глубине контур интрузива кистальского комплекса

верхней части толщи. В составе вулканитов в пределах рудного поля на долю андезитов приходится около 50 %, андезибазальтов – 15 %, базальтов – 8 %, туфов андезитового состава – 15 %, туфов ос-

новного состава – 11 %, туфов кислых вулканитов и туфов смешанного состава – 1 %.

В пределах рудного поля выделено восемь золотоносных зон, представляющих собой интенсив-



но гидротермально измененные породы с золото-серебряной минерализацией мощностью от 5 до 100 м и протяженностью от 100 до 1100 м. Положение золотоносных зон и рудных тел контролируется разнонаправленными разрывными нарушениями, которые под различными углами пересекают вмещающие породы. Верхние части большинства рудных тел окислены до глубины 15–35 м и представлены кавернозными рудами каолинит-серицит-скородит-кварц-гидрогетитового состава. В пределах золотоносных зон по результатам опробования оконтурено 28 рудных тел с содержанием золота от 0,7 до 5,6 г/т, серебра от 0,2 до 570 г/т [1].

Наиболее изученная Центральная золотоносная зона представляет собой вытянутую в северо-западном направлении зону брекчированных аргиллизитизированных и березитизированных пород, приуроченную к дайке дацитовых порфиров учуленско-казанкольского комплекса. Мощность зоны 50–100 м, установленная протяженность около 1100 м. Рудные тела мощностью 1–7 м и протяженностью до 150 м представлены метасоматитами с многочисленными прожилками и жилами, сложенными преимущественно кварцем и рудными минералами. Северное продолжение Центральной зоны перекрывается аллювиальными отложениями р. Каз и четвертичными склоновыми глинистыми отложениями (см. рис. 2).

Минералогия и петрография Центральной зоны

Характерная особенность состава руд и околорудных метасоматитов Каларского проявления – разнообразный минеральный состав. В составе прожилков и жил преобладает кварц, также встречаются серицит, кальцит, доломит, сидерит, анкерит, хлорит, гидрослюда, эпидот, цоизит, лейкоксен, в меньших количествах – актинолит, каолинит, скаполит, флюорит, гранат, турмалин, апатит, тальк [8].

Золото-серебряные руды представляют собой серию сульфидно-кварцевых жил и прожилков среди метасоматически измененных брекчированных вулканитов и субвулканических дацитовых порфиров. По данным ранее проведенных научно-исследовательских и геолого-разведочных работ предполагаются три стадии формирования рудной минерализации: ранняя (золото-арсенопирит-пиритовая), поздняя (серебро-галенитовая) и пострудная (из рудных минералов в небольших количествах содержатся борнит, киноварь, марказит, реальгар, золото). Около 75 % золота связано с золото-арсенопирит-пиритовой ассоциацией. Кроме широко распространенных в рудах пирита, арсенопирита, галенита, сфалерита, халькопирита, встречаются золото, электрум, серебро, марказит, мельниковит, пирротин, леллингит, молибденит, реальгар, киноварь, аргентит, акантит, висмутин, борнит, калаверит, гессит, алтаит, тетрадимит, тетраэдрит, теннантит, буланжерит, барит, алуниит, маухерит, магнетит, гематит [8].

Нами исследованы образцы керн из поисковой скв. С-2, пройденной в северной части Центральной зоны сотрудниками АО «Росгеология». Были изготовлены и изучены шлифы и аншлифы, оставшаяся часть образцов раздроблена и проанализирована методом ICP-MS. Аншлифы из интервалов с повышенными содержаниями золота изучены на сканирующем электронном микроскопе (JSM-6510LV (JeolLtd) с системой микроанализа AZTEC Energy XMax-80) в ИГМ СО РАН.

В результате установлено, что в геохимических пробах с повышенным содержанием Au (>0,2 г/т) отмечается его положительная корреляция – высокая с Ag (0,42), As (0,89), Bi (0,73), Sb (0,51) и значимая с Pb (0,36) (см. таблицу). Объем выборки 22 пробы, критическое значение r_k для 5%-го уровня значимости составляет 0,40, в скобках выше приведены значения коэффициентов парной корреляции элементов.

Изучение керн скв. С-2 позволило выделить такую последовательность смены метасоматических пород (рис. 3):

А – верхняя зона (измененные вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы с сохраненной порфировой структурой; вкрапленники плагиоклаза размером до 2–3 мм частично замещены хлоритом и в меньшей степени карбонатом; рудная минерализация 0–3 %);

Б – умеренно измененная зона (измененные вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы с сохраненной порфировой структурой; вкрапленники плагиоклаза размером до 3–4 мм замещены серицитом, кварцем, карбонатом, в значительно меньшей степени хлоритом; рудная минерализация 3–5 %);

В – значительно измененная зона (метасоматиты, сложенные серицитом, кварцем, карбонатом; рудная минерализация 3–5 %);

Г – рудная зона (брекчированные породы с густой сетью серицит-кварц-карбонатных жил и прожилков; рудная минерализация до 20–30 %, в редком случае до 65–70 %);

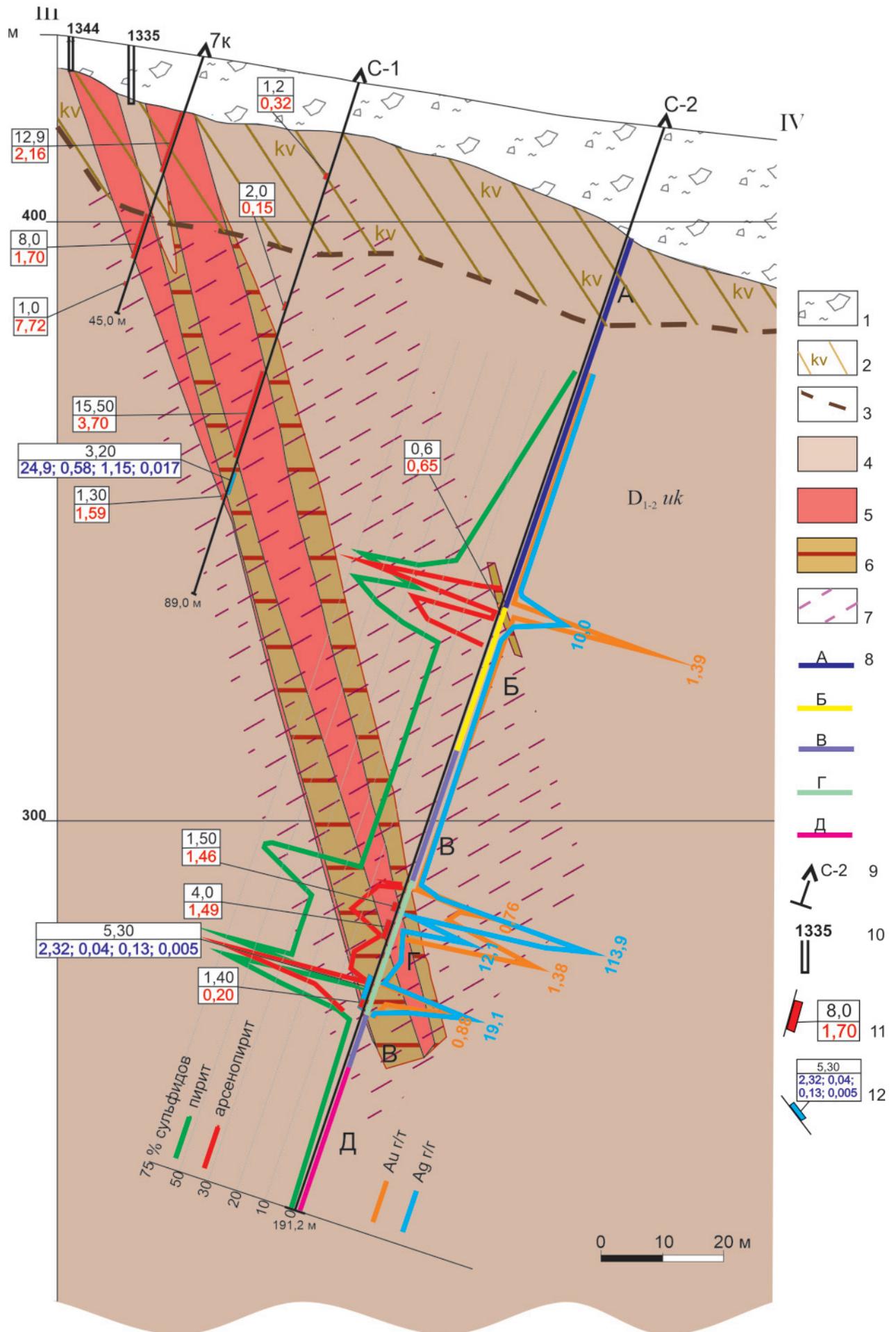
Д – подрудная зона (породы, схожие по составу с породами зоны В, но отличающиеся сохранением первоначальной порфировой структуры; рудная минерализация 3–5 %).

По относительному содержанию сульфидов в метасоматитах выделяются минерализованные, золотоносные зоны и рудные тела.

В минерализованной зоне количество рудных минералов 1–2 % (преимущественно пирит); в золотоносной – 2–5 %: пирит (80–85 %) и арсенопирит (5–10 %), крайне редко отмечаются сфалерит, пирротин (до 5 %). В рудных телах количество сульфидов достигает 5–10 % (иногда 20 %), в редких случаях они образуют маломощные (до 0,5 м) участки сливных руд с количеством сульфидов до 65–75 %. Рудные минералы представлены пиритом (до 50 %), арсенопиритом (до 45 %), редко отмечаются сфале-



№ 3(43) ♦ 2020



Результаты ICP-MS анализа пород и руд Каларского проявления, скв. С-2, массовая доля, $n \cdot 10^{-4}$, %

Номер пробы	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Sb	W	Au	Pb	Bi
С-2-43,5	59949	26	22,5	60	>500	909	0,177	>1	5,8	0,54	<0,001	31	0,52
С-2-79,7	43507	14,2	14,2	72	>500	633	0,129	<0,1	6,5	0,67	<0,001	12,9	0,48
С-2-82,5	77078	16,9	15,8	27	164	564	0,089	0,15	8,2	0,37	<0,001	7,2	0,89
С-2-83,6	39130	4,7	9,1	156	87	3476	1,67	0,51	18,6	0,86	<0,001	102	>10
С-2-84,0	>100000	67	13,6	366	366	>10000	10,0	>1	56	<0,1	1,39	315	>10
С-2-84,8	55924	11,7	12,4	175	31	6228	2,41	0,15	23	0,91	0,055	66	>10
С-2-88,0	62617	8,3	15,5	198	375	1657	0,68	<0,1	18,9	0,63	0,0107	24	>10
С-2-90,6	52186	17,0	13,6	42	38	4177	0,31	<0,1	14,3	0,66	0,0103	35	1,22
С-2-132,5	75391	16,5	12,5	118	90	5298	0,38	0,15	24	0,86	0,0145	11,7	5,5
С-2-134,4	87518	18,9	16,5	70	33	4195	1,81	0,21	59	2,2	0,23	45	>10
С-2-134,6	84120	8,0	4,7	21	34	4856	3,57	0,19	37	>10	0,137	419	>10
С-2-135,4	92000	4,3	8,5	43	25	3249	3,21	0,16	49	2,1	0,067	318	7,4
С-2-135,6	>100000	3,1	5,0	586	129	>10000	>30	>1	>200	9,6	0,76	>500	>10
С-2-136,2	>100000	3,3	4,3	207	79	8668	25,6	>1	>200	7,8	0,48	>500	>10
С-2-137,1	91282	7,3	11,0	26	67	4609	2,99	0,46	45	>10	0,35	205	>10
С-2-140,5	>100000	60	14,8	63	67	>10000	12,4	>1	197	>10	1,38	>500	>10
С-2-146,8	28052	8,1	10,6	14,4	77	2713	0,64	<0,1	11,5	0,69	0,058	20	2,6
С-2-151,4	61356	25	9,2	25	>500	1940	2,40	>1	14,6	1,39	0,107	>500	3,2
С-2-152,3	63359	35	8,4	12,2	>500	3495	0,36	>1	12,1	0,55	0,0120	74	1,31
С-2-154,4	>100000	5,0	12,2	232	229	9434	19,1	>1	80	1,98	0,88	>500	>10
С-2-156,3	90906	48	25,1	345	143	720	6,9	0,78	58	1,02	0,028	371	9,4
С-2-157,6	72565	25	7,1	14,9	132	446	0,203	<0,1	5,4	0,91	0,026	22	0,96

рит, халькопирит, пирротин, блеклые руды, висмутин (до 5 %) (см. рис. 3).

При изучении аншлифов из рудного тела с отметки 140,5 м на сканирующем электронном микроскопе были установлены следующие минералы: пирит и арсенопирит (преобладают), сфалерит, галенит, халькопирит, блеклые руды, висмутин. Впервые на рассматриваемом объекте авторами обнаружены парагуанахуатит $\text{Bi}_2(\text{Se},\text{S})_3$, яскульскиит $\text{Pb}_{2+x}\text{Cu}_x(\text{Sb},\text{Bi})_{2-x}\text{S}_5$, $x = 0,15$, козалит $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$, твиннит $\text{Pb}(\text{Sb}_{0,63}\text{As}_{0,37})_2\text{S}_4$, павонит AgBi_3S_5 , арамайолит $\text{Ag}(\text{Sb},\text{Bi})\text{S}_2$, купчикит $\text{Cu}_{3,4}\text{Fe}_{0,6}\text{Bi}_5\text{S}_{10}$, гиссенит $(\text{Cu},\text{Fe})_2\text{Pb}_{26,4}(\text{Bi},\text{Sb})_{19,6}\text{S}_{57}$, тинтинаит $\text{Pb}_{10}\text{Cu}_2(\text{Sb},\text{Bi})_{16}\text{S}_{35}$, слагающие менее 1 % от общего объема сульфидов (рис. 4). В аншлифах из рудных интервалов с повышенным содержанием золота (до 1,39 г/т) не удалось установить самородное золото размерностью более 1 мкм.

Таким образом, особенностью минералогического состава руд является широкое развитие ореолов пиритовой минерализации мощностью 5–100 м,

а внутри них – рудных тел с высоким содержанием рудных минералов (10–20 %, в единичных случаях до 75 %), преимущественно пирита и арсенопирита, а также халькопирита, сфалерита, галенита и блеклых руд. Характерно разнообразие минеральных форм, в том числе широкое распространение сульфидов Pb, Bi, Ag и теллуридов Au, Ag, Pb.

В прежних публикациях [8] были приведены данные по самородному золоту, полученному из бороздовых проб по канавам, вскрывшим окисленные руды. Было установлено тонкодисперсное (менее 0,001 мм) золото пробностью 916–880 ‰ в пирите, лимоните, арсенопирите, скородите, сфалерите.

Нами исследовано золото из шлиховых проб из нижней части делювия над изученной в скв. С-2 Центральной рудной зоной. Золото мелкое, тонкое, размером до 0,4 мм, рудного облика, в сростании с прозрачным кварцем, в единичных случаях с лимонитом. В результате проведенных работ опреде-

Рис. 3. Схема минералогической зональности Каларского проявления по линии разреза III–IV (с использованием материалов АО «Росгеология»)

1 – покровные глинистые и обломочные отложения; 2 – кора выветривания; 3 – граница распространения коры выветривания; 4 – ранне-среднедевонские вулканогенно-осадочные породы учуленско-казанкольской последовательности свит; 5 – золоторудные тела; 6 – золотоносные зоны, выделенные по данным опробования; 7 – зоны околорудных метасоматитов; 8 – зоны метасоматически преобразованных пород, выделенные по скв. С-2 (пояснения см. в тексте); 9 – скважины; 10 – шурфы; 11 – рудные интервалы (в числителе – стволовая мощность, м, в знаменателе – содержание золота, г/т); 12 – содержания серебра (г/т), свинца, цинка, меди (%) по данным химического анализа (в числителе – стволовая мощность, в знаменателе – содержания элементов)

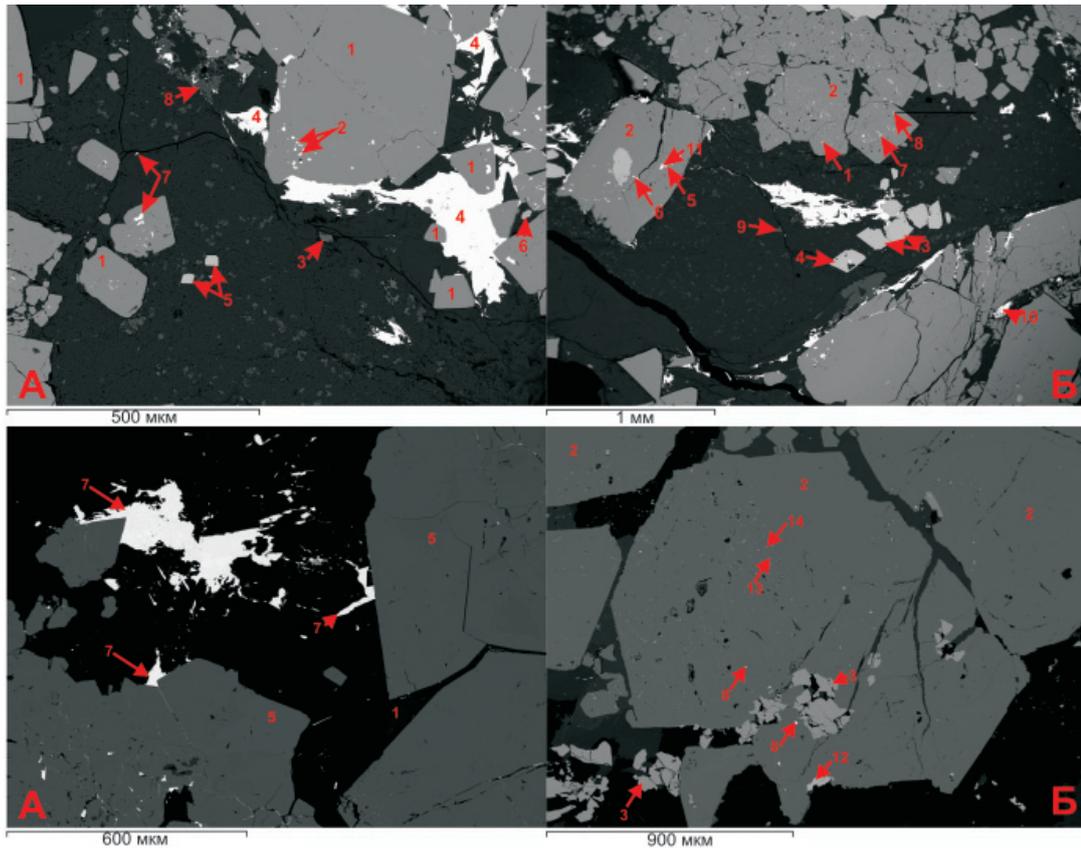


Рис. 4. Микрофотографии аншлифов со сканирующего электронного микроскопа JSM-6510LV (JeolLtd)

А – 1 – пирит, 2 – павонит, 3 – рутил, 4 – висмутин, 5 – арсенопирит, 6 – черчит, 7 – яскольскит, 8 – сидерит, 9 – апатит; Б – 1 – сфалерит, 2 – пирит, 3 – арсенопирит, 4 – висмутин, 5 – арамайолит, 6 – купчикит, 7 – галенит, 8 – козалиит, 9 – рутил, 10 – гиссенит, 11 – павонит, 12 – рабдофан, 13 – пирротин, 14 – троилит

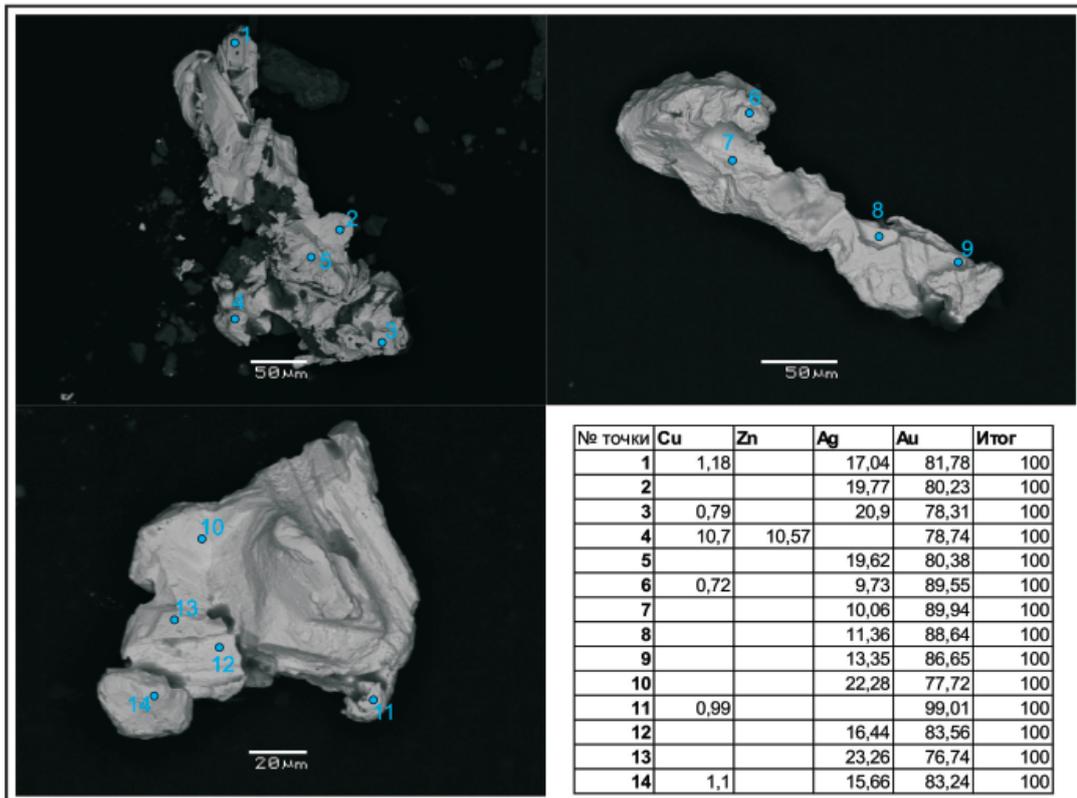
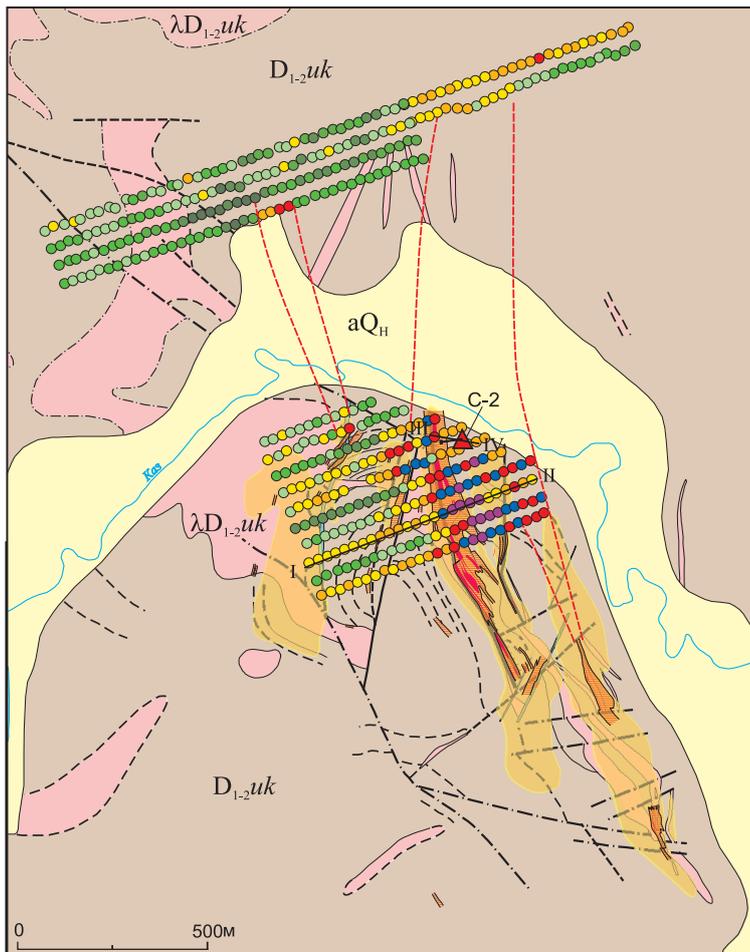


Рис. 5. Микрофотографии золота из делювиальных отложений над Центральной золотоносной зоной



Значения мультипликативного коэффициента ИМС в логарифмической шкале

- 0,000–0,4771
- 0,4772–1,114
- 1,115–1,568
- 1,569–1,919
- 1,920–2,100
- 2,101–2,272
- 2,273–2,498
- 2,499–2,797
- 2,798–3,388
- 3,389–4,058

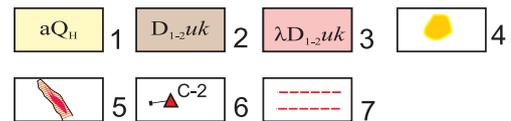


Рис. 6. Схема опробования Каларского участка со значениями мультипликативного показателя

1 – четвертичные отложения; 2 – отложения раннего девона учуленско-казанкольской свиты; 3 – субвулканы учуленско-казанкольского комплекса; 4 – контуры вторичных аномалий мышьяка, определенные предшественниками; 5 – установленные рудные зоны и тела; 6 – скв. С-2; 7 – предполагаемые продолжения минерализованных зон

лена пробность от 777 до 990 ‰, ее средние значения изменяются от 797 до 886 ‰ (рис. 5).

Ионно-сорбционная методика поисков

Одним из наиболее эффективных методов поисков рудных месторождений в закрытых рудных районах является поиск по вторичным наложенным ореолам рассеяния. Они формируются в результате миграции рудных компонентов (элементов, ионов, газов, микрочастиц минералов) из глубинных источников через толщу перекрывающих отложений к земной поверхности, где частично фиксируются в почвенном покрове. Основная причина связывания компонентов наложенного ореола – сорбция катионов тяжелых металлов разнообразными коллоидами зоны гипергенеза, большая часть которых содержится в почве.

Установление наложенных геохимических аномалий в почвах возможно путем избирательного извлечения в раствор легкоподвижных форм нахождения рудных элементов. Для литохимических поисков «слепых» и погребенных полиметаллических месторождений, перекрытых чехлом молодых осадков, в ЦНИГРИ разработан ионно-сорбционный метод (ИСМ) [5], который хорошо себя зарекомендовал себя при ГРП на Рудном Алтае, Салаире, Енисейском кряже и в Забайкалье [4].

Сущность метода заключается в избирательной способности разбавленного раствора азотной кис-

лоты извлекать катионы из ионообменных, карбонатных, оксидных и органоминеральных форм нахождения элементов в почвенном покрове. Верхний почвенный слой (A_1), обладая высокой дисперсностью, служит прекрасным сорбентом катионов; при взаимодействии почв с разбавленной азотной кислотой катионы замещаются на ион гидроксония (H_3O^+), переводя катионы химических элементов в раствор, который анализируется ICP-MS методом.

Наиболее благоприятные условия для образования вторичных наложенных ореолов рассеяния возникают при гипергенных изменениях существенно сульфидных месторождений, имеющих многокомпонентный состав и относительно высокие кларки концентраций химических элементов в рудах.

Наличие зон сульфидизированных пород с рудными телами с высоким содержанием и большим разнообразием рудных минералов, содержащих S, As, Sb, послужило основанием для изучения возможности использования ионно-сорбционного метода для выявления наложенных ореолов рассеяния над рудными зонами золото-серебряного Каларского проявления.

Методика и результаты применения ионно-сорбционного метода на Каларском рудном поле

Для оценки эффективности применения ионно-сорбционного метода было проведено опробо-

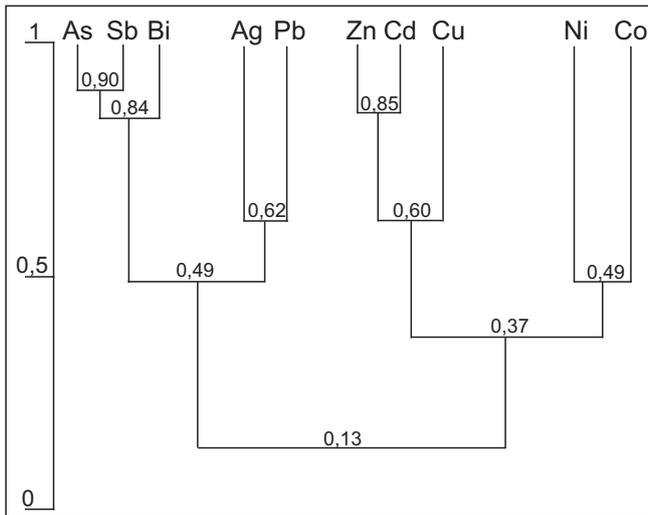


Рис. 7. Дендрограмма корреляционных связей

вание Центральной золотоносной зоны Каларского проявления и ее предполагаемого северного продолжения. Отбор проб производился из продуктов выветривания горных пород при гомогенном характере рыхлых образований. Над указанной зоной вквост простирания пройдено 10 профилей,

на ее северном фланге – еще четыре (рис. 6). Протяженность профилей от 300 до 1000 м, сеть отбора проб (25–50)×100 м. Пробы отбирались из верхнего почвенного горизонта A_1 с глубины 0,10–0,15 м. Начальная масса пробы 200–300 г. Высушенные пробы просеивались через сито 0,07 мм и отправлялись в лабораторию для пробоподготовки и проведения анализа ICP-MS методом.

По природно-климатическим условиям территория Каларского рудного поля относится к горно-таежной зоне. Основу почвенного покрова составляют светло-серые и темно-серые дерново-подзолистые почвы. Для такого типа почв характерно накопление целого ряда элементов в самом верхнем горизонте (A_1) за счет биогенной аккумуляции и минерализации органических веществ. Мощность рыхлых отложений в пределах Каларского проявления составляет первые метры, к северу от него возрастает до 10–15 м. При такой мощности в условиях замедленной современной денудации могут формироваться закрытые с поверхности ореолы рассеяния, для выявления которых требуются новые методические и технические подходы, в частности ионно-сорбционная методика поисков перекрытого оруденения.

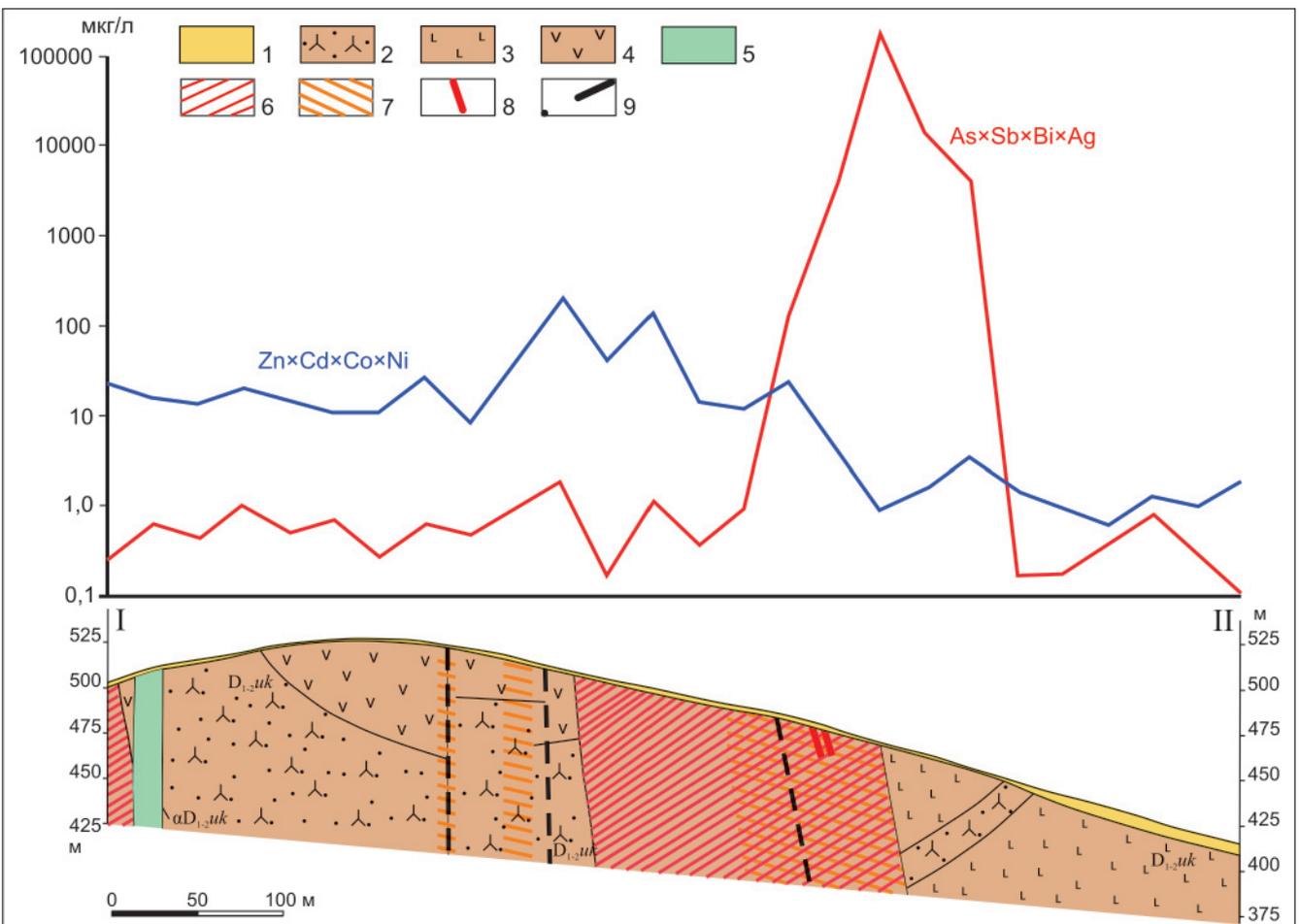


Рис. 8. График распределения мультипликативных показателей продуктивной и ранней ассоциаций элементов по профилю № 12, разрез III Центральной золотоносной зоны Каларского проявления

1 – покровные рыхлые образования; 2 – туфы смешанного состава; 3 – базальтовые порфириты; 4 – андезитовые порфириты; 5 – дайки базальтов и андезитов; 6 – метасоматически преобразованные породы; 7 – золотоносные зоны; 8 – рудные тела, выявленные предшественниками; 9 – разрывные нарушения



Проведенная в пределах Каларского участка ионно-сорбционная съемка позволила выявить вторичные наложенные ореолы рассеяния широкого круга типоморфных элементов (As, Sb, Ag, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co), ориентированных по направлению простираения минерализованных зон.

Корреляционный анализ позволил установить сильные корреляционные зависимости между парами типоморфных элементов в наложенных ореолах рассеяния Каларского. Совокупность проявления этих связей представлена графически в виде двумерной дендрограммы (рис. 7). На 5%-ном уровне значимости при критическом значении коэффициента парной корреляции 0,26 выделяются две группы элементов. В первую вошли As, Sb, Bi, Ag, Pb, которые отвечают составу золото-серебряных руд Каларского проявления, во вторую – Cu, Zn, Cd, Co, Ni, отвечающие ранней ассоциации. Данные корреляционного анализа свидетельствуют, что распределение элементов в наложенных ореолах рассеяния может объективно отражать их связь с коренным источником. Это позволяет уже на ранних стадиях поисковых работ давать предварительную оценку выявленных геохимических аномалий по комплексу элементов рудной ассоциации.

Выделенные ассоциации пространственно разобщены. На рис. 8 представлены графики распределения содержаний элементов по профилю 12 Каларского проявления. Для сопоставления между собой ассоциации элементов представлены в виде мультипликативных показателей. Аномалия элементов рудной ассоциации $As \times Sb \times Bi \times Ag$ характеризуется размахом значений $R = \max/\min = 1 \cdot 10^7$, что существенно превышает любые погрешности ICP-MS-анализа, и приурочена к проекции выхода рудных тел на дневную поверхность. Ширина аномалии в 2 раза превосходит мощность минерализованной зоны. Элементы второй группы приурочены к лежащему боку минерализованных зон. Размах значений мультипликативного показателя $Zn \times Cd \times Co \times Ni$ составил $R = \max/\min = 3 \cdot 10^3$.

В закрытых рудных районах при геохимических поисках погребенных месторождений по их наложенным ореолам рассеяния важное значение имеет усиление контрастности слабых аномалий. Простейший метод усиления слабых аномалий, скрытых за уровнем природных и технических помех, – перемножение (мультипликация) содержаний нескольких элементов типоморфного комплекса по точкам съемочной сети.

Для выявления наложенных ореолов рассеяния в северной части Каларского рудного поля, перекрытой рыхлыми отложениями повышенной мощности, использовался мультипликативный показатель $As \times Sb \times Bi \times Ag$, характеризующийся высоким размахом и отвечающий составу рудных тел Каларского проявления. На северном фланге проявления была установлена ранее неизвестная контрастная аномалия $As \times Sb \times Bi \times Ag$ (см. рис. 6). Интерпретация

этих данных позволяет прогнозировать здесь продолжение минерализованных зон Каларского проявления под рыхлыми отложениями мощностью более 10 м на расстояние порядка 1 км.

Результаты проведенных работ подтвердили, что ионно-сорбционным методом фиксируются с поверхности зоны золото-серебряной минерализации, перекрытые чехлом рыхлых молодых отложений мощностью 10–15 м.

Выводы

В западной части АССО выделяются несколько рудных узлов с эпитермальным золото-серебряным оруденением, приуроченным к вулcano-тектоническим структурам, сложенным ранне-среднедевонскими вулканогенно-осадочными и гипабиссальными породами. Золото-серебряное оруденение прослеживается от Северного Алтая до севера Кузнецкого Алатау. Оно отличается минеральным составом и характером метасоматических изменений вмещающих пород. Изучение минералогических и геохимических особенностей состава руд и окколорудных метасоматитов Каларского проявления Кабурчакского золото-серебряного узла позволило установить следующие особенности.

Рудоносные метасоматиты представлены безрезитизированными и аргиллизитизированными дацитовыми порфиритами и андезитами с многочисленными прожилками и жилами преимущественно сульфидно-кварцевого состава. Особенностью минералогического состава руд является широкое развитие ореолов пиритовой минерализации мощностью до 100 м. Внутри ореолов пиритизации выделяются рудные тела с высоким содержанием рудных минералов (10–20 %, в единичных случаях до 75 %), преимущественно пирита и арсенопирита, а также халькопирита, сфалерита, галенита и блеклых руд. Характерно разнообразие минеральных форм, в том числе широкое распространение сульфидов Pb, Bi, Ag и теллуридов Au, Ag, Pb. Нашими исследованиями впервые обнаружены парагуахуатит $Bi_2(Se,S)_3$, яскульскиит $Pb_{2+x}Cu_x(Sb,Bi)_{2-x}S_5$, $x = 0,15$, козалит $Pb_2Bi_2S_5$, твиннит $Pb(Sb_{0.63}As_{0.37})_2S_4$, павонит $AgBi_3S_5$, арамайойт $Ag(Sb,Bi)S_2$, купчикит $Cu_{3.4}Fe_{0.6}Bi_5S_{10}$, гиссенит $(Cu,Fe)_2Pb_{26.4}(Bi,Sb)_{19.6}S_{57}$, тинтинаит $Pb_{10}Cu_2(Sb,Bi)_{16}S_{35}$, слагающие менее 1 % от общего объема сульфидов.

Опытно-методические работы в пределах известной Центральной золотоносной зоны показали высокую эффективность использования ионно-сорбционного метода поисков в условиях большой мощности рыхлых перекрывающих отложений. По результатам проведенной на Каларском участке ионно-сорбционной съемки выявлены вторичные наложенные ореолы рассеяния широкого круга типоморфных элементов (As, Sb, Ag, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co). В результате анализа геохимических данных обоснован наиболее эффективный мультипликативный показатель для поисков коренного золото-се-



ребряного оруденения $As \times Sb \times Bi \times Ag$. Использование ионно-сорбционного метода на северном фланге Каларского рудного поля, где широко развиты перекрывающие четвертичные отложения мощностью до 25 м, дало возможность установить комплексную геохимическую аномалию (Ag, As, Cu, Pb, Zn), которая, предположительно, отражает северное продолжение Центральной рудной зоны.

Положительные результаты использования ионно-сорбционного метода на Каларском рудном поле для выявления перекрытого оруденения с повышенным содержанием сульфидных минералов раскрывают новые возможности для поисков аналогичного золото-серебряного оруденения в других девонских вулканоструктурах АССО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Герашченко А. А.** Анализ минерально-сырьевой базы золота Кемеровской области // Золото Кузбасса. – Кемерово, 2000. – С. 69–234.

2. **Гусев А. И.** Эпитермальное оруденение благородных металлов Горного Алтая и Горной Шории // Изв. ТПУ. – 2005. – Т. 308, № 3. – С. 32–35.

3. **Гусев Н. И., Шокальский С. П., Гусев А. И.** Возраст магматизма (U-Pb, SHRIMP II), контролирующей эпитермальное оруденение Новофирсовского золоторудного узла (Алтай) // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 45. – С. 98–105.

4. **Миляев С. А., Кряжев С. Г., Виленкина Ю. В.** Ионно-сорбционный метод литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений: общие принципы, опыт применения // Руды и металлы. – 2017. – № 2. – С. 60–68.

5. **Патент 2713177** Российская Федерация, МПК G01N33/24, G01V 9/00. Ионно-сорбционный способ литохимических поисков полиметаллических месторождений / С. А. Миляев, С. Г. Кряжев, В. Ю. Виленкина; заявитель и патентообладатель ФГБУ «ЦНИГРИ». – № 2019125891; заявл. 16.08.2019; опублик. 04.02.2020, Бюл. № 4. – 9 с.

6. **Сорбционные** ореолы рассеяния скрытых колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая и их поисковое значение / С. А. Миляев, В. В. Кузнецов, В. Б. Чекваидзе, Ю. В. Виленкина // Отечественная геология. – 2015. – № 2. – С. 12–18.

7. **Черных А. И.** Геолого-минералогическое картирование на золото масштаба 1:500 000 северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области (задачи, методики, результаты) // Изв. ТПУ. Сер. «Науки о земле». – 2009. – Т. 314, № 1. – С. 16–22.

8. **Черных А. И., Неволько П. А., Борисенко А. С.** Эпитермальное золотосеребряное оруденение Кабурчакского рудного узла (Горная Шория) – особенности локализации, минералогия и возраст // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2013. – № 3 (15). – С. 76–82.

9. **Черных А. И., Некипелый В. Л., Некипелая С. А.** Геолого-минералогическое картирование

масштаба 1:500 000 западной части Алтае-Саянской складчатой области – основа для оценки ресурсного потенциала рудного золота региона // Матер. IV Междунар. симп. «Золото Сибири: геохимия, технология, экономика». – Красноярск, 2006. – С. 80–81.

10. **Chernykh A. I.** Prediction of epithermal gold-silver mineralization in the Altai-Sayany folded region based on correlation with reference objects of north-western Pacific // Gold of the North Pacific Rim: International geology and mining forum. – Magadan, 2011. – P. 233–234.

REFERENCES

1. Gerashchenko A.A. [Analysis of the mineral-resources base of gold in the Kemerovo region]. *Zoloto Kuzbassa* [Gold Kuzbass]. Kemerovo, 2000, pp. 69–234. (In Russ.).

2. Gusev A.I. [Epithermal ore mineralization of noble metals of Mountain, Rudny Altay and Mountain Shoria]. *Izvestiya Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2005, vol. 308, no. 3, pp. 32–35. (In Russ.).

3. Gusev N.I., Shokalsky S.P., Gusev A.I. [Age of magmatism (U-Pb, SHRIMP II), controlling epithermal mineralization of the Novofirsovsky gold-ore cluster (Altay)]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 2011, no. 45, pp. 98–105. (In Russ.).

4. Milyaev S.A., Kryazhev S.G., Vilenkina Yu.V. [Ion-sorption method of lithochemical prospecting for hidden polymetallic deposits: general principles, experience of use]. *Rudy i metally*, 2017, no. 2, pp. 60–68. (In Russ.).

5. Milyaev S.A., Kryazhev S.G., Vilenkina Yu.V. *Ionno-sorbtsionnyy sposob litokhimicheskikh poiskov polimetallicheskikh mestorozhdeniy* [Ion-sorption method of lithochemical prospecting of polymetallic deposits. Patent 2713177 Russian Federation, IPC G01N33/24, G01V 9/00. Req. 16.08.2019; publ. 04.02.2020]. Bull. no. 4. 9 p. (In Russ.).

6. Milyaev S.A., Kuznetsov V.V., Chekvaidze V.B., Vilenkina Yu.V. [Sorptions haloes of dispersion of hidden pyrite-polymetallic ore deposits of the Altay and the importance of search engine]. *Otechestvennaya geologiya*, 2015, no. 2, pp. 12–18 (In Russ.).

7. Chernykh A.I., Nekipel'yy V.L., Nekipel'aya S.A. [Geological and mineralogical mapping with a scale of 1:500 000 of western part of the Altai-Sayan folded region as the basis for appraisal of resource potential of the lode gold in the region]. *Materialy IV mezhdunarodnogo simpoziuma "Zoloto Sibiri: geokhimiya, tekhnologiya, ekonomika"* [Materials of the 4th International Symposium "Gold of Siberia: Geochemistry, Technology, Economy"]. Krasnoyarsk, 2006, pp. 80–81. (In Russ.).

8. Chernykh A.I., Nevolko P.A., Borisenko A.S. [Epithermal gold-silver mineralization of the Kaburchak ore cluster (Mountain Shoriya) – distribution features, mineralogy and age]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2013, no. 3 (15), pp. 76–82. (In Russ.).



9. Chernykh A.I. [Geological and mineralogical mapping for gold with a scale of 1:500 000 of the north-western part of the Altay-Sayan folded region (tasks, methods, results)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 314, no. 1, pp. 16–22. (In Russ.).

10. Chernykh A.I. Prediction of epithermal gold-silver mineralization in the Altay-Sayany folded region based on correlation with reference objects of north-western Pacific. *Gold of the North Pacific Rim: International Geology and mining forum*. Magadan, 2011, pp. 233–234.

© А. И. Черных, М. П. Брысин, И. В. Арсентьева,
П. Н. Лейбгам, С. А. Миляев, 2020