

## Золотое и серебряное оруденение в терригенных породах восточной части Сугойского прогиба (Магаданская область, Россия)

Лапенко А.С.<sup>1</sup>, Кириллов В.Е.<sup>2</sup>, Савва Н.Е.<sup>3</sup>, Козлов Н.Н.<sup>1</sup>, Коновалова Н.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Магаданский филиал «Полиметалл УК», Магадан, lapenko@magadan.polymetal.ru; kozlov\_nn@polymetal.ru

<sup>2</sup> ИТиГ ДВО РАН, Хабаровск, kirillow.vadim2013@yandex.ru; turtle@mail.ru

<sup>3</sup> СВКНИИ ДВО РАН, Магадан

**Аннотация.** В статье рассматриваются минералого-геохимические особенности золотого и серебряного оруденения в терригенных толщах Сугойского прогиба, которые отнесены к трем главным рудным формациям: золото-редкометалльной (связана с интрузивно-купольными структурами), серебро-полиметаллической (связана с субвулканическими интрузивно-купольными структурами) и золото-серебряной (в эродированных вулканоструктурах). Золото-редкометалльная формация в грейзен-березитовых метасоматитах характеризуется ассоциацией Au с минералами Bi, Te и As, серебро-полиметаллическая формация в кварц-хлоритовых метасоматитах – акантита с галенитом. Для золото-серебряной формации в березитизированных породах установлена связь акантитовой и купроауритовой минерализации.

**Ключевые слова:** Сугойский прогиб, терригенные толщи, рудная формация, минеральный тип, золото, серебро.

## Gold and silver mineralization in terrigenous rocks of the eastern part of the Sugoi basin (Magadan region, Russia)

Lapenko A.S.<sup>1</sup>, Kirillov V.E.<sup>2</sup>, Savva N.E.<sup>3</sup>, Kozlov N.N.<sup>1</sup>, Konovalova N.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Magadan Branch of Polymetal MK, Magadan, lapenko@magadan.polymetal.ru; kozlov\_nn@polymetal.ru

<sup>2</sup> ITiG FEB RAS, Khabarovsk, kirillow.vadim2013@yandex.ru; turtle@mail.ru

<sup>3</sup> SVKNII FEB RAS, Magadan

**Abstract.** The article discusses mineralogical and geochemical features of gold and silver mineralization in terrigenous strata of the Sugoi basin, which are assigned to three main ore assemblages: gold-rare metal (associated with intrusive domal structures), silver-polymetallic (associated with subvolcanic intrusive domal structures), and gold-silver (in eroded volcanostructures). The gold-rare metal assemblage in greisen-beresite metasomatites is characterized by the association of Au with Bi, Te and As minerals and the silver-polymetallic assemblage in quartz-chlorite metasomatites – by the association of acanthite with galena. The association of acanthite and cuproaurite mineralization was found to be characteristic of the gold-silver assemblage in beresitized rocks.

**Keywords:** Sugoi basin, terrigenous strata, ore assemblage, mineral type, gold, silver.

### Введение

В последние годы, с целью увеличения минерально-сырьевой базы Au и Ag Дукатского и Кубакинского ГОКов, Магаданским филиалом АО «Полиметалл» активно проводились поисковые и разведочные работы на потенциально перспективных площадях. В числе других изучались золотые и серебряные рудные объекты в пределах восточной части Сугойского складчатого прогиба с предварительной оценкой и получением новых данных по их геолого-структурной локализации, формационной принадлежности и вещественному составу руд.

### Материалы и методы

Образцы руд на минералогические исследования отбирались в маршрутах, из керн буровых скважин и канав. Исследования пород и минералов проводились в аналитических лабораториях ИТиГ ДВО РАН (г. Хабаровск) и СВКНИИ ДВО РАН (г. Магадан), с использованием микроскопа VEGA3 TESCAN и приборного комплекса «QEMSCAN», сканирующего электронного микроскопа EVO-50. Для ICP анализа на 51 элемент использовался масс-спектрометр ICP-MS Elan 9000 (ИТиГ).

### Геолого-структурное строение и металлогения Сугойского прогиба

Сугойский прогиб слагает восточную часть Балыгычанской провинции Яно-Колымской складчатой системы (ЯКСС), входящей в состав Верхояно-Чукотского складчатого пояса. Формации ЯКСС принадлежат турбидитовым и сланцевым террейнам осадочных бассейнов трансформных границ континентальных литосферных плит (Ханчук и др., 1999). Терригенные образования, входящие в состав ЯКСС и Сугойского прогиба, сформировались на пассивной окраине Северо-Азиатского кратона в результате морского осадконакопления в позднем палеозое, триасе и юре, и в конце этого периода претерпели региональную складчатость в результате перехода к орогенной стадии развития. В меловое время район пережил интенсивно проявившуюся постаккреационную тектоно-магматическую активизацию орогенной стадии, в результате чего сформировался Охотско-Чукотский вулканический пояс и в его внешней зоне серия поперечных к нему «оперяющих» линейных субмеридиональных перивулканических структур вдоль косых меридиональных сдвигов (Сидоров, 2008). На рассматриваемой территории (рис. 1) они представлены Омсукчанским рифтогенным прогибом, Коркодоно-Наяханской и Конгинской интрузивно-вулканическими зонами.

Рудные узлы Сугойского прогиба отчетливо приурочены к зонам тектоно-магматической активизации. Хорошо изученная (Горячев и др., 2010; Савва 2018; Трушин и др., 2021 и др.) Омсук-

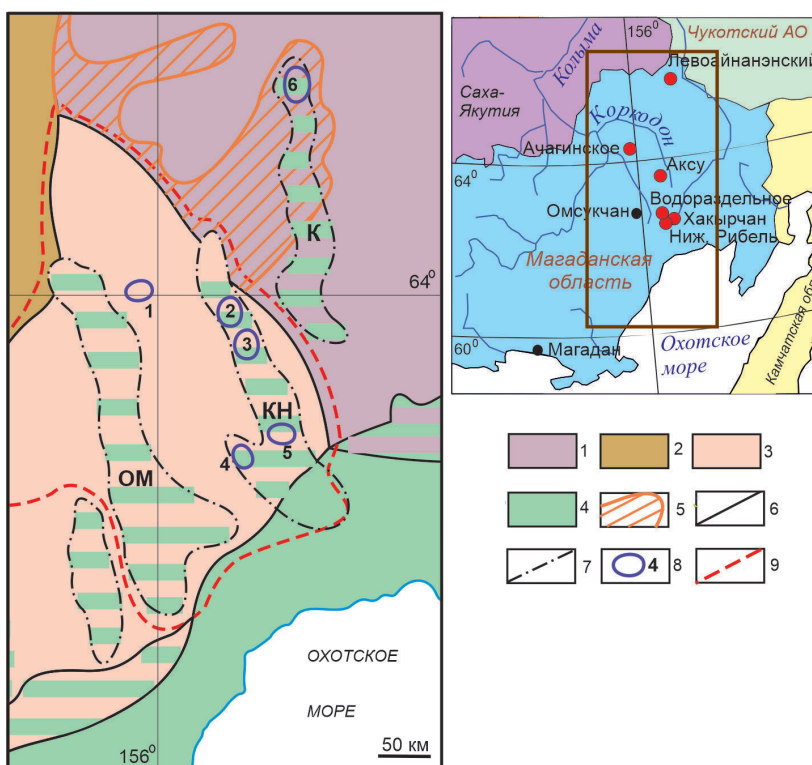


Рис. 1. Металлогеническая карта Сугойского прогиба и его обрамления (по Кузнецову, 1998; Трушину и др., 2021).

1–4 – металлогенические провинции и пояса: 1 – Омолонская провинция; 2 – Приколымо-Черско-Полоуснинский пояс; 3 – Яно-Колымский пояс; 4 – Охотско-Чукотский пояс; 5 – триасово-юрские впадины на Омолонском массиве; 6–7 – границы: 6 – металлогенических провинций; 7 – структурно-металлогенических зон (ОМ – Омсукчанская зона, КН – Коркодон-Наяханская зона, К – Конгинская зона); 8 – рудные узлы: 1 – Ачагинский, 2 – Верхнемедвежинский, 3 – Аксуйский, 4 – Босуевский, 5 – Хакырчанский, 6 – Левоайнанэнский; 9 – границы Сугойского прогиба.

Fig. 1. Metallogenic map of the Sugoi basin and its periphery (after Kuznetsov, 1998).

1–4 – metallogenic provinces and belts: 1 – Omolon province; 2 – Prikolymo-Chersko-Polousninsky belt; 3 – Yano-Kolymsky belt; 4 – Okhotsk-Chukotsky belt; 5 – Triassic-Jurassic depressions of the Omolon massif; 6–7 – boundaries: 6 – metallogenic provinces; 7 – structural metallogenic zones (OM – Omsukchanskaya zone, KH – Korkodon-Nayakhanskaya zone, K – Konginskaya zone); 8 – ore clusters: 1 – Achaginsky, 2 – Verkhmedvezhinsky, 3 – Aksuisky, 4 – Bosuyevsky, 5 – Khakyrchansky, 6 – Levoainanensky; 9 – margins of the Sugoi basin.

чанская металлогеническая зона, характеризующаяся многочисленными месторождениями Ag, Au, Sn и полиметаллов, в настоящей статье не рассматривается. Большая часть других узлов относится к потенциальным рудоносным (ПРУ) и сосредоточено в восточной части Сугойского прогиба, в субмеридиональной Коркодоно-Наяханской металлогенической зоне (КНМЗ) (рис. 1). Рудные объекты Левоайнанэнского, Ачагинского, Аксуйского, Босуевского и Хакырчанского рудных узлов (рис. 1) относятся к перспективным рудопрооявлениям и мелким месторождениям, изученным ограниченными объемами поискового бурения и канав. Коркодоно-Наяханская металлогеническая зона специализирована преимущественно на Mo и Au оруденение. Для ряда рудных узлов отмечается присутствие серебряного и полиметаллического оруденения. Для КНМЗ характерна металлогеническая зональность, с севера на юг: Au – (Au, Ag) – (Ag, Zn, Mo) на границе с Охотско-Чукотским поясом.

Выявленные к настоящему времени рудные объекты востока Сугойского прогиба связаны с магматогенными структурами трех типов: 1) интрузивно-купольными; 2) субвулканическими интрузивно-купольными (в том числе, на участках эродированных вулканоструктур); 3) дайковыми поясами. С интрузивно-купольными структурами связано редкометальное и золото-редкометальное оруденение, с субвулканическими и дайковыми образованиями – Au, Ag и серебро-полиметаллическое.

*Золото-редкометальное оруденение, связанное с интрузивно-купольными структурами* характерно для северной части КНМЗ (Верхнемедвежинский, Аксуйский ПРУ), а также отдельных интрузивно-купольных структур (Ачагинский ПРУ). В ЯКСС это оруденение проявляется: 1) в обширных ареалах тонко рассеянной золотоносной сульфидизации (пирит, арсенопирит) в углесто-глинистых толщах триаса; 2) в связи со специализированными на Au и редкие металлы магматическими породами ряда диориты – гранодиориты – биотитовые граниты – адамелиты (Сидоров, 1989).

Для золото-редкометалльных объектов КНМЗ рудоносной материнской формацией является раннеорогенный надсубдукционный наяханский диорит-гранодиоритовый комплекс повышенной щелочности с возрастом формирования 90–75 млн. лет (Колова и др., 2017). Рудовмещающей формацией является флишоидная, представленная осадочными образованиями триаса с повышенным содержанием фосфора и углерода. Оруденение приурочено к ороговикованным экзоконтактовым, реже эндоконтактовым зонам интрузий, где контролируется тектоническими нарушениями. Метасоматическая рудоносная формация может быть охарактеризована как грейзен-березитовая, оруденение связано с линейными жильными штокверками.

Наиболее изученными примерами этого типа являются рудопрооявления Аксуйского ПРУ, связанные с многофазной рудно-магматической системой (Колова и др., 2017; Маматюсупов, 2016; Соцкая и др., 2021).

В пределах узла большая часть рудопрооявлений сосредоточено в его западной части, в рудном поле Солнечное в зоне экзоконтакта многофазного гранитоидного массива (рис. 2).

Разломы субширотного и северо-восточного направления контролируют зоны кварц-мусковит-серицитовых метасоматитов мощностью до 50 м с линейно-сетчатым кварцевым, кварц-карбонатным прожилкованием с золотой, сульфидной и редкометальной специализацией. Содержания Au в зонах колеблются 0.5–3 г/т, максимально 45 г/т, Ag 5–10 г/т, As до 0.4 %, Pb до 1.54 %, Zn до 1.05 %, Cu до 0.03 %, Bi до 0.1 % и Te до 0.008 %. Наиболее устойчивый геохимический парагенезис образуют Au, As, Bi и Te.

Для рудного поля Солнечное характерно многообразие минеральных парагенезисов с участием Au, Cu, Mo, Bi и W минерализации. Из рудных формаций, преобладающей является золото-редкометалльная, с которой генетически связаны золото-сульфидная в роговиках, золото-сульфидная кварцевая и серебро-полиметаллическая. Золотосодержащие минеральные ассоциации приурочены к периферическим частям молибден-порфировой системы (Маматюсупов и др., 2016; Соцкая и др., 2021).

Золото-редкометалльная формация рудного поля Солнечное включает золото-теллуридно-висмут-арсенопиритовый, золото-теллуридно-висмутовый, золото-серебро-полисульфидный, золото-арсенопиритовый, кобальт-сульфоарсенидно-полиметаллический с Au и Bi типы рудной ми-

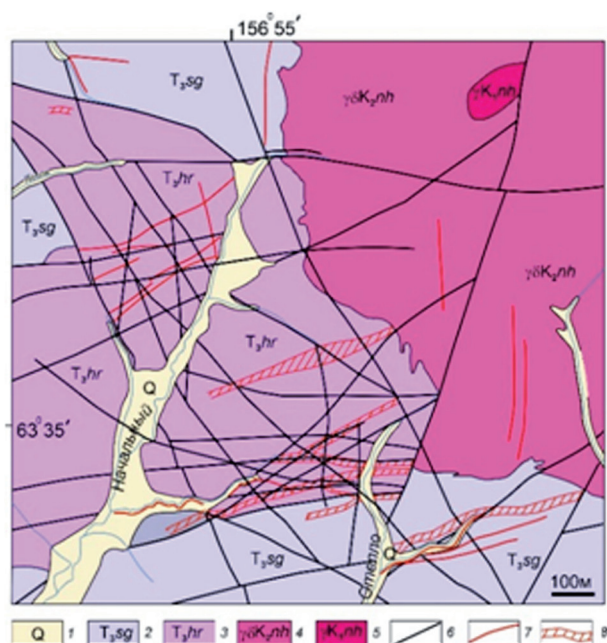


Рис. 2. Схематическая геологическая карта центральной части рудного поля Солнечное.

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – сугойская толща (аргиллиты, алевролиты, песчаники, туффиты); 3 – хурканская толща (алевролиты, песчаники); 4–5 – наяханский интрузивный комплекс: 4 – гранодиориты, 5 – граниты; 6 – тектонические нарушения; 7 – линейные сульфидно-кварцевые жильные зоны; 8 – метасоматические зоны с сетчатым кварц-сульфидным прожилкованием

Fig. 2. Schematic geological map of the central part of the Solnechnyi ore field. 1 – Quaternary alluvial deposits; 2 – Sugoi strata (mudstones, siltstones, sandstones, tuffites); 3 – Khurkanskaya strata (siltstones, sandstones); 4–5 – Nayakhansky intrusive complex: 4 – granodiorites, 5 – granites; 6 – faults; 7 – linear sulfide-quartz vein zones; 8 – metasomatic zones with quartz-sulfide reticulated veins.

нерализации. Золото-теллуридно-висмут-арсенопиритовый тип минерализации является наиболее распространенным. Он связан с жилами и прожилками кварца с пирротин-арсенопиритовой минерализацией. Золото, самородный висмут и теллуриды висмута на верхних горизонтах заключены в арсенопиритовую матрицу. Ниже по вертикали распространен золото-теллуридно-висмутовый тип, где рудные минералы присутствуют в свободном состоянии, или в сростании друг с другом и с пирротинном.

Вне пределов КНМЗ, в Ачагинском узле, отмечается подобное золото-редкометалльное оруденение. Рудоносные зоны приурочены к разломной зоне северо-восточного простирания в экзоконтакте гипабиссального гранодиоритового массива Флагман. Околорудные метасоматиты характеризуются кварц-калишпат-кальцит-серицитовым составом. Минеральный тип относится к золото-висмутовому. Кроме самородных золота и висмута, присутствуют аргентит, галенит, халькопирит, вольфрамит, касситерит и ксенотим.

*Серебро-полиметаллическое оруденение*, связанное с субвулканическими интрузиями, характерно для Хакырчанского ПРУ в юго-западной части КНМЗ. Площадь узла сложена терригенными породами  $T_3$ , прорванными субвулканическими интрузиями наяханского комплекса. Северную часть ПРУ занимает вулcano-тектоническая структура с выходами субвулканических пород. Наиболее значительным рудным объектом Хакырчанского узла является одноименное полиметаллическое серебросодержащее месторождение, локализованное в меридиональной разломной зоне в терригенных породах (рис. 3) в 2 км южнее границы вулканических образований. Месторождение представляет собой жильно-прожилковый штокверк размерами  $100 \times 900$  м в ороговикованных аргиллитах и алевролитах  $T_3$ . Для руд установлена многостадийность гидротермального и рудного процессов, что отразилось на разнообразии их текстур – массивной, вкрапленной, брекчиевой и полосчатой.

Латеральная рудно-метасоматическая зональность представляется в следующем виде, от периферии к центру: 1) окварцованные по объему терригенные породы; 2) кварц-хлоритовые метасоматиты с сульфидами; 3) массивные сульфидные руды.

Основными минералами являются железистый сфалерит (Fe до 18.5 %), галенит, в том числе Ag-содержащий (Ag до 1.23 %) и акантит (Sb до 17.2 %, Cu до 12.5 %), образующий интерстиции в галените. Содержание Ag в рудах до 3380 г/т, Zn до 40 %, Pb до 25 %.

Исходя из наблюдаемой геологической ситуации, авторы предполагают влияние на рудообразование субвулканического тела, не вскрытого эрозией.

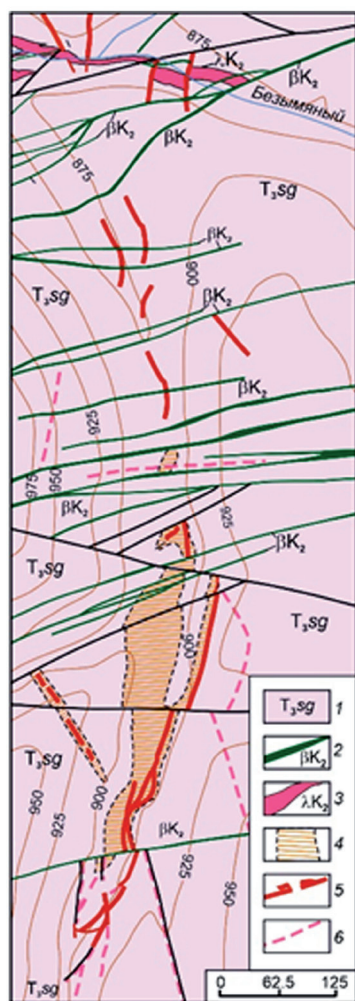


Рис. 3. Геологическая карта Хакырчанского месторождения.

1 – песчаники, алевриты сугойской толщи  $T_3$ ; 2 – дайки базальтов  $K_2$ ; 3 – дайки риолитов  $K_2$ ; 4 – зоны кварц-сульфидных жил и прожилков; 5 – наиболее крупные кварц-сульфидные жилы; 6 – хлорит-кварцевые жилы.

Fig. 3. Geological map of the Khakyrchan deposit.

1 –  $T_3$  rocks: sandstones, siltstones of the Sugoi strata; 2 – dykes of  $K_2$  basalts; 3 – dykes of  $K_2$  rhyolites; 4 – zones of quartz-sulfide veins; 5 – the largest quartz-sulfide veins; 6 – chlorite-quartz veins.

разломными зонами. Оруденение во всех случаях контролируется субвулканическими интрузиями и в дайковых поясах.

Оруденение Аксуйского и Ачагинского ПРУ относится к золото-редкометалльной формации, проявленной на Северо-Востоке России и на Аляске (Сидоров и др., 1989). Аксуйский ПРУ отлича-

Хакырчанское месторождение является единственным богатым полиметаллическим (с Ag) месторождением в терригенных толщах Сугойского прогиба. Другие полиметаллические объекты региона связаны с вулканогенными формациями (Савва, 2018).

Золото-серебряное оруденение характерно для Левайнанэнского ПРУ в северной части Конгинской металлогенической зоны Омолонского массива.

Левайнанэнский узел располагается в северной части Долмананской впадины, представляющей собой «апофизу» Сугойского прогиба в западной части Омолонского массива (рис. 1). Поля вулканитов  $K_2$  покровной фации в пределах узла значительно эродированы, при этом распространены образования корневых частей вулканоструктур, слагающие штоко- и силлообразные интрузии и дайки разных серий. Золото-сереброносные гидротермалиты (брекчии, кварц-карбонатные прожилковые зоны с корундом и сульфидами) приурочены к эндо- и экзоконтактам березитизированных даек и интрузий. Рудные минералы представлены купроауритом (Cu до 33.25 %), акантитом, галенитом, пиритом, арсенопиритом. В гидротермалитах содержатся, в г/т: Au до 10.1 г/т, Ag 10–36.4 г/т, Pb до 1340, Cu до 235–520, As до 10 кг/т. Геохимический парагенезис образуют Au, Ag, Cu и Mo.

Серебряное оруденение в пиролозитовых гидротермалитах в терригенных породах  $T_3$  флишиоидной формации установлено на рудопроявлении Водораздельное в пределах Босуевского ПРУ в южной части Сугойского прогиба. Рудопроявление располагается на южном фланге Тынгыльчанской молибденоносной интрузивно-купольной гранитоидной структуры наяханского комплекса и приурочено к субширотному дайковому поясу. Рудная зона с пиролозитовыми гидротермалитами содержит Ag (до 2790 г/т), As (1 %), Pb (0.8 %), Zn (0.6 %) и Cu (0.085 %). Из рудных минералов определены станин, арсенопирит и сульфид серебра, образующие в массе пиролозита мелкую рассеянную вкрапленность. В пределах Левайнанэнского рудного поля, отмечаются сходные кварц-пиролозитовые содержаниями Ag до 356 г/т и вкрапленностью сульфида серебра, обогащенного Sb и Cu.

### Выводы

Золотое и серебряное оруденение в терригенных толщах востока Сугойского прогиба относится к трем рудным формациям: золото-редкометалльной, золото-серебряной и серебросодержащей полиметаллической (Трушин и др., 2021). Все перечисленные рудные формации связаны с магматогенными рудоносными системами и размещаются или непосредственно в контактовых зонах интрузивных структур, или в их периферических зонах, а также вблизи субвулканических интрузий и в дайковых поясах.

ется наиболее значительным разнообразием минеральных типов руд, что обусловлено петрографическим разнообразием интрузивных пород и длительностью развития рудоносных систем с многоэтапно проявившимся оруденением. Его главными особенностями являются: 1) невысокая сульфидность руд и их слабая сереброносность, 2) ассоциация Au в парагенезисе с минералами As, Te и Bi.

Для Хақырчанского серебро-полиметаллического месторождения основными особенностями руд являются: 1) относительно простой состав руд; 2) отчетливая связь Ag с галенитом и акантитом, сростающимся с галенитом.

Рудопроявление Водораздельное принадлежит своеобразному типу массивных жильных марганцевых руд с богатой серебряной минерализацией. Подобные руды встречаются и в пределах Леоайнанэнского узла.

Оруденение Леоайнанэнского ПРУ относится к Au-Ag мезо-эпитермальному типу и может быть связано, по геологическим данным, с корневыми частями вулканических сооружений. Наличие значительной примеси Cu в золоте и сульфиде серебра может говорить о влиянии медно-порфировой рудно-магматической системы.

Предполагается, что к наиболее перспективным типам руд могут относиться: 1) золото-редкометалльные руды, пригодные для кучного выщелачивания; 2) серебро-полиметаллические руды с высокими содержаниями Ag; 3) малосульфидные золото-серебряные руды в «корнях» эродированных палео-вулканоструктур.

## Литература

1. Горячев Н.А., Волков А.В., Сидоров А.А. и др. Золото-серебряное оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера. 2010. № 3. С. 36–50.
2. Колова Е. Е., Маматюсупов В. Т., Соболев А.В. Мо и Au оруденение Коркодон-Наяханского металлогенического пояса // Чтения памяти К.В. Симакова. Материалы докладов Всерос. науч. конф. Магадан. Изд-во: СВКНИИ ДВО РАН. 2017. С. 82–85.
3. Кузнецов В.М. Объяснительная записка к геологической карте и карте полезных ископаемых Колымо-Омолонского региона масштаба 1:500 000. Магадан. 1998. 267с.
4. Маматюсупов В.Т., Михалицына Т.И. Минералого-геохимическая характеристика порфировой системы Аксу // Геология, география, биологическое разнообразие и ресурсы Северо-Востока России. Материалы III Всерос. конф., посвящ. памяти А. П. Васьковского. Магадан. Изд-во: СВКНИИ ДВО РАН. 2016. С. 164–166.
5. Савва Н.Е. Минералогия серебра Северо-Востока России. М. Изд-во: Триумф. 2018. 544 с. DOI 10.32986/978-5-89392-823-5-1-544 С 126.
6. Сидоров А.А., Розенблюм И.С. О золото-редкометалльных формациях на Северо-Востоке СССР // Геология рудных месторождений. 1989. № 6. С. 95–98.
7. Сидоров А.А., Волков А.В., Вашилов Ю.Я. О зонах субмеридиональных глубинных разломов Северо-Востока России // ДАН. 2008. Том 423. №4. С. 507-510.
8. Соцкая О.Т., Михалицына Т.И., Савва Н.Е., Горячев Н.А., Маматюсупов В.Т., Семьшев Ф.И., Малиновский М.А. Рудно-метасоматическая зональность молибден-порфировой системы Аксу (Северо-Восток Азии) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2021. № 3. С. 3–17.
9. Трушин С.И., Кириллов В.Е., Лапенко А.С. Благороднометалльные рудные формации зон активизации востока Яно-Колымской складчатой системы (Магаданская область, Россия) // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 67–78.
10. Ханчук А.И., Иванов В.В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1635–1645.