

УДК 553.411(571.65)

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ НИЖНЕ-МЯКИТСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА (Северо-Восток России)

Литвиненко И. С.¹, Шилина Л. А.²

*¹ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан*

E-mail: litvinenko@neisri.ru

²ГБУК Магаданский областной краеведческий музей, г. Магадан

Проведено комплексное исследование самородного золота и рудных минеральных парагенезисов Берентальской интрузивно-купольной структуры в юго-восточной части Яно-Колымского золотоносного пояса. Показана зональность оруденения: от центральной части (в эндоконтактах Берентальского штока) с Au-Bi-Te «стилем» минерализации к As-Au (в экзоконтактах штока) и далее к Ag-Pb-Zn – на периферии. В этом же направлении происходит и изменение пробности самородного золота в рудах от высоко- и среднепробного к низкопробному. Сурьмяная минерализация отмечена на завершающей стадии формирования руд. Вертикальная зональность выражается в смене с глубиной серебрено-полисульфидного типа оруденения на сульфидно-сульфоарсенидный и ниже висмут-сульфотеллуридный. Относительно широко распространен редкий минерал – мальдонит (Au₂Bi). Сквозные минералы руд – пирротин, самородный висмут и его теллуриды. Полученные факты позволили отнести гидротермальную систему Берентальского штока к RIRGD-типу, т. е. к месторождениям золота, связанным с восстановленными интрузивами, что может способствовать совершенствованию методики поисково-оценочных работ на месторождениях подобного типа и открытию крупных по запасам объектов.

Ключевые слова: Северо-Восток России, золотое оруденение, RIRGD-система, зональность, минеральные типы руд.

DOI: 10.34078/1814-0998-2022-2-26-44

ВВЕДЕНИЕ

Остро обозначившееся в последние десятилетия на Северо-Востоке России истощение сырьевой базы россыпных месторождений вызвало необходимость ускоренного создания и укрепления золоторудной базы горнодобывающей промышленности. Наличие положительных примеров в мировой практике выявления и эксплуатации месторождений золота, связанных с гранитоидными интрузивами, способствовало интенсификации поисково-оценочных работ на объектах данного типа.

В советский период большинство отечественных геологов причисляли проявления золота, связанные с гранитоидными интрузивами, к золото-редкометалльной формации. В более поздних работах некоторые исследователи данный вид объектов относят к золото-порфировому (Фогельман и др., 1995; Сидоров, 2000; и др.), золото-полисульфидно-кварцевому (Константи-

нов и др., 2000), золото-висмутовому (Горячев, Гамянин, 2006) типу. В англоязычной геологической литературе (Thompson, Newberry, 2000; Lang, Baker, 2001; Hart, 2007; и др.) они соответствуют классу месторождений золота, связанных с восстановленными интрузивами, и обозначаются аббревиатурой RIRGD (Reduced Intrusive Related Gold Deposit). Данное название нам представляется наиболее удачным, так как охватывает все типы (а не только с висмутовой минерализацией в гранитоидах) оруденения, формирующиеся в восстановительной обстановке интрузивно-связанных золоторудных систем (RIRGD-систем).

Золотоносность Нижне-Мякитского (Левое Мякитского) рудно-россыпного узла установлена в 1934 г. с открытием в его пределах россыпей золота. В настоящее время здесь выявлено и практически полностью отработано 6 мелких и средних золотых россыпных месторождений (рис. 1). Специализированные тематические исследования по определению формационной при-

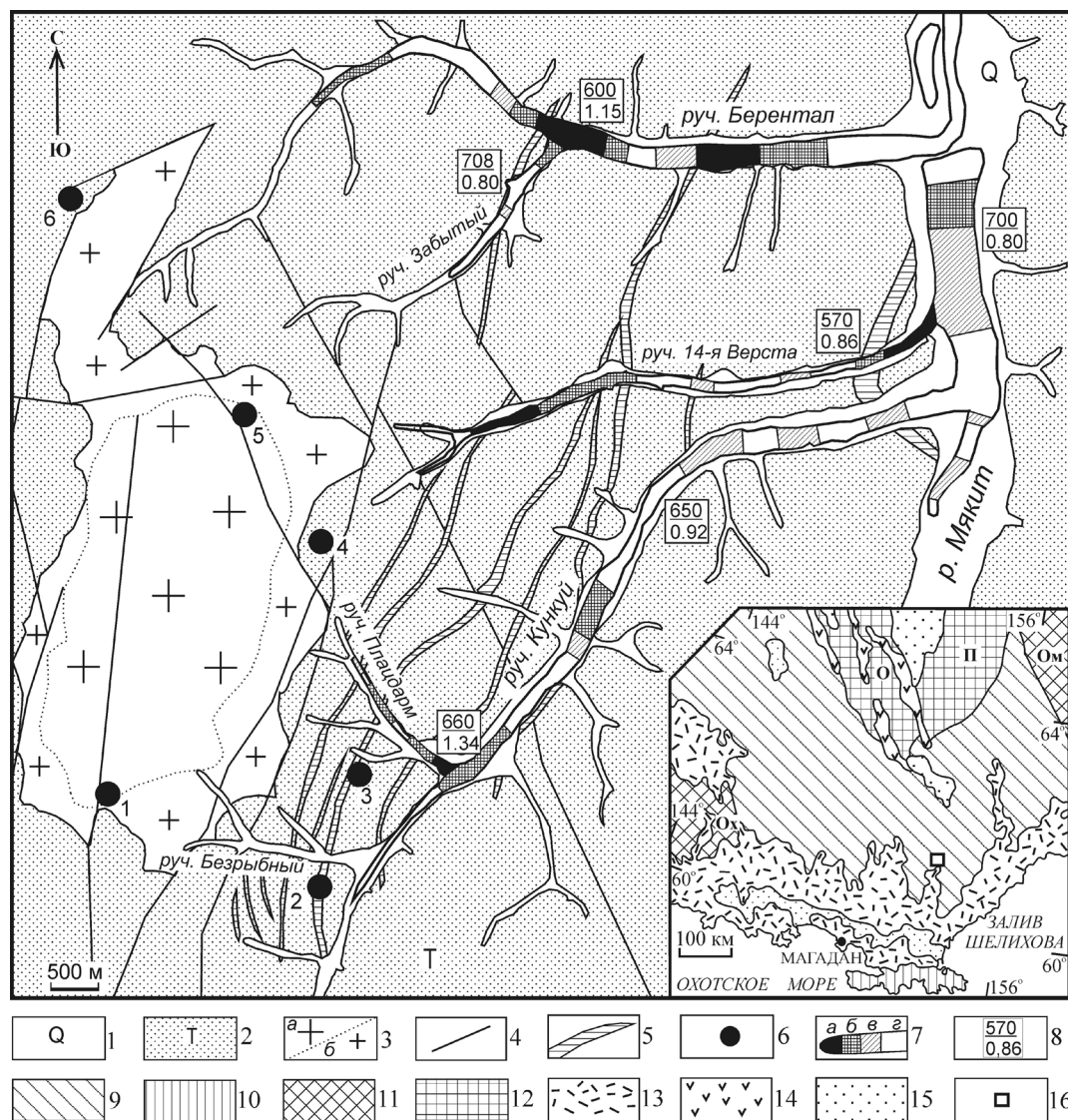


Рис. 1. Геологическая схема Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла. Схема составлена на геологической основе (В. В. Бурзайкин, 1995 г.), с дополнениями и упрощениями: 1 – четвертичные аллювиальные отложения речных долин; 2 – триасовые терригенные и вулканогенно-терригенные отложения Балыгычанского поднятия Яно-Колымской складчатой системы; 3 – позднеюрско-раннемеловые среднезернистые (а) и мелкозернистые (б) биотитовые граниты Берентальского штока; 4 – разрывные нарушения; 5 – минерализованные зоны дробления с прожилково-жильным окварцеванием и вкрапленно-прожилковой рудной минерализацией; 6 – золоторудные проявления (1 – Фронт, 2 – Зона Южная, 3 – Плацдарм, 4 – Палатка, 5 – Берентал, 6 – Зона Тревога); 7 – контуры россыпей с очень богатыми (а), богатыми (б), относительно богатыми (в) и бедными (г) участками; 8 – средняя пробыность (над чертой) и средняя крупность (под чертой) самородного золота в россыпях по разведочным данным; 9–15 – обозначения геологических структур на врезке: 9, 10 – Верхояно-Чукотская (9) и Корьяско-Камчатская (10) складчатые области; 11 – Охотский (Ох) и Омолонский (Ом) срединные массивы; 12 – Омудевское (О) и Приколымское (П) поднятия; 13, 14 – Охотско-Чукотский (13) и Уяндино-Ясачненский (14) вулканогенные пояса; 15 – наложенные кайнозойские впадины; 16 – местоположение Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла

Fig. 1. Schematized geology of the Lower Myakit ore-placer cluster, based on V. V. Burzaykin (1995), amended and simplified: 1 – Quaternary alluvium in river valleys; 2 – Triassic terrigenous and volcanic-terrigeneous deposits of the Balygychan Uplift of the Yana-Kolyma folded system; 3 – Late Jurassic-Early Cretaceous medium- (a) and fine-grained (b) biotite granites of the Berental stock; 4 – fault structures; 5 – mineralized crush zones with quartz veins and lodes, and vein-dissemination ore mineralization; 6 – gold occurrences (1 – Front, 2 – Zona Yuzhnaya, 3 – Platzdarm, 4 – Palatka, 5 – Berental, 6 – Zona Trevoga); 7 – contours of placers with very rich (a), rich (b), relatively rich (v), and poor (g) sites; 8 – average fineness (above the line) and average size (below the line) of native gold in placers, according to geological prospecting data; 9–15 – geological structures on the inset map: 9, 10 – Verkhoyansk-Chukotka (9) and Koryak-Kamchatka (10) folded areas; 11 – Okhotsk (Ox) and Omolon (Om) median massifs; 12 – Omulyovka (O) and Prikolymye (P) uplifts; 13, 14 – Okhotsk-Chukotka (13) and Uyandina-Yassachnaya (14) volcanic belts; 15 – superimposed Cenozoic depressions; 16 – Lower Myakit ore-placer cluster

надлежности их коренных источников впервые проведены В. М. Кузнецовым в конце 1980-х гг. На основе единичных шлиховых проб, в которых атомно-абсорбционным анализом определена пробность, а спектральным анализом – геохимический состав самородного золота, сделаны выводы об оловянно-серебряном формационном типе коренных источников россыпей руч. 14-я Верста, Плацдарм, р. Мякит; золото-серебряном – россыпи руч. Кункуй; золото-сульфидно-кварцевом и золото-серебряном – россыпи руч. Берентал (Кузнецов и др., 1990). В 2003 г. Н. Е. Савва и ее соавторы по результатам изучения самородного золота шлиховой пробы из верховьев руч. Плацдарм предположили, что коренным источником расположенной в данном ручье россыпи является оруденение, связанное с гранитоидами (Савва и др., 2003). В 2011 г. В. М. Кузнецовым с соавторами высказано мнение о формировании россыпей руч. 14-Верста и Берентал за счет позднемелового золото-серебряного оруденения рудопоявления Берентал (Кузнецов и др., 2011). По их представлениям, из этого же типа оруденения поступала основная масса золота в россыпь руч. Плацдарм. По последним данным (Литвиненко, Шилина, 2020), россыпные месторождения узла сформировались за счет многочисленных рудных проявлений, располагавшихся на всем протяжении россыпей и представленных висмут-сульфотеллуридным, сульфидно-сульфоарсенидным и серебро-полисульфидным минеральными типами оруденения, отвечающими по модели RIRGD-систем К. Дж. Р. Харта (Hart, 2007) зонам соответственно с $\text{Au-Bi-Te} \pm \text{W}$, As-Au (As-Sb-Au) и Ag-Pb-Zn «стилем» минерализации их центральной, средней и периферийной частей.

Первые сведения о наличии в пределах Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла рудных проявлений золота приводятся в отчетах геолого- и поисково-разведочных партий начала 1940-х гг. (М. Д. Капитонов, 1944 г.; И. Н. Карбивнычий, 1944 г.). Обширная коренная золотоносность узла установлена в ходе проведения геолого-съемочных, поисково-оценочных и тематических работ середины и конца XX и начала XXI в. (З. И. Литовченко, 1967 г.; В. В. Бурзайкин, 1995 г.; В. Н. Егоров, 2004 г.; и др.). В этот период выявлено большинство известных рудопоявлений золота, отнесенных к золото-редкометалльной и золото-серебряной формациям (Кузнецов и др., 2011). Большой объем геологической информации по рудным проявлениям узла получен в процессе проведения в 2011–2018 гг. ООО «Золотодобывающая корпорация» поисковых работ на наиболее перспективных рудных объектах, расположенных в экзо- и эндо-контактных частях Берентальского гранитного

штока (А. П. Шерстобитов, 2015 и 2018 г.). На основе этой информации все золотое оруденение Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла отнесено к золото-полисульфидно-кварцевому типу. Были охарактеризованы минеральные ассоциации и генерации (генетические группы) самородного золота, распространенные в различных частях рудных интервалов (А. П. Шерстобитов, 2018 г.; Позднякова и др., 2019; Ивасенко и др., 2020). Цель настоящей работы – уточнение на основе полученных материалов по золоторудным проявлениям и россыпным месторождениям Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла состава и общей схемы развития оруденения Берентальской RIRGD-системы. Изучение новых объектов RIRGD-систем несомненно представляет научный интерес и может способствовать совершенствованию методики поисково-оценочных работ на месторождениях данного типа.

МЕТОДИКА РАБОТ

Минеральный состав орудения исследован в 114 штучных, 7 протолочных и 11 шлиховых пробах, отобранных в ходе полевых работ 2008–2012 гг. Кроме того, одна шлиховая и две протолочные пробы любезно предоставлены геологической службой ООО «Золоторудная корпорация». Протолочные и отобранные из элювиальных развалов рудных тел шлиховые пробы обогащались на лотке. Из полученных концентратов зерна исследуемых рудных минералов и самородного золота извлекались под биноклем. Раздробленный до 1.0 мм материал 5 штучных проб был последовательно растворен в плавиковой и азотной кислотах. После каждой стадии растворения из полученного остатка проводился отбор зерен золота под биноклем.

Вещественный состав россыпных месторождений изучен в 159 шлиховых пробах, отобранных из реликтов отработанных россыпных месторождений. Исследованы также шлиховые пробы из склоново-элювиальных образований, перекрывающих рудные проявления Фронт и Плацдарм (89 проб). Основная масса проб обогащена на лотке, 10 шт. – на винтовом сепараторе и шлюзе. Минеральный состав полученных концентратов исследовали под биноклем и в смонтированных аншлифах.

Определение химического состава исследованных рудных минералов, пробности золотин и состава в них микровключений выполнено в смонтированных аншлифах локальным микрорентгеноспектральным анализом на микрозондовом анализаторе Camebax № 304, дополнительно укомплектованном энергодисперсионным спектрометром X-Max 50 английской фирмы Oxford Instruments, программное обеспечение Inca Energy (г. Магадан, ЦКП СВКНИИ

ДВО РАН, аналитики Т. В. Субботникова и Е. М. Горячева). Для изучения минерального состава микровключений в самородном золоте, кроме того, использовался сканирующий электронный микроскоп EVO-50 германской фирмы Carl Zeiss с рентгеновской системой энергодисперсионного микроанализа Quantax американской корпорации Bruker (ЦКП СВКНИИ ДВО РАН, аналитики О. Т. Соцкая, Е. М. Горячева). Геохимический состав штуфных, концентратов протоочных и шлиховых проб определяли экспрессным количественным спектральным анализом в ЦКП СВКНИИ ДВО РАН (аналитик Т. П. Козырева), содержания золота в них подтверждались атомно-абсорбционным анализом (ЦКП СВКНИИ ДВО РАН, аналитики Т. В. Крячко и В. П. Колесова).

Всего в ходе выполненных исследований в смонтированных аншлифах изучен состав 206 зерен, ассоциирующих с золотом рудных минералов, 1392 золотинок и 70 присутствующих в них минеральных включений. По 122 пробам получены данные о геохимическом составе рудных образований и 248 концентратов шлиховых проб из россыпей.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ И РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ НИЖНЕ- МЯКИТСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА

Нижне-Мякитский рудно-россыпной узел находится в северо-западной части Хурчано-Мякитской золотоносной зоны на юго-восточном фланге Яно-Колымского золотоносного пояса. В тектоническом отношении узел расположен в зоне юго-восточного замыкания Яно-Колымской складчатой системы Верхояно-Чукотской складчатой области вблизи ее границы с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом (см. рис. 1) на участке пересечения зон Умарского и Хурчан-Оротуканского глубинных разломов.

Рудные проявления узла приурочены к Берентальской интрузивно-купольной структуре. В ее центральной части располагается одноименный шток, сложенный биотитовыми гранитами, в состав которых входят кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклаз, биотит; менее 1 % составляют мусковит, циркон, гранат, рудные минералы. По последним данным (Зименко и др., 2018), они относятся к гранитам S-типа коллизионной природы и включены в позднеюрско-раннемеловой гранитный плутонический Каньонский комплекс. Участки метасоматической проработки в них представлены мусковитовыми, кварц-мусковитовыми, гранат-мусковит-кварцевыми, андалузит-мусковитовыми грейзенами и березитами. Из сульфидов отмечаются пирит и, в мень-

шем количестве, арсенопирит. На крыльях структуры залегают раннетриасовые глинистые и песчано-глинистые сланцы, алевролиты и аргиллиты с маломощными горизонтами песчаников. В приконтактной зоне по ним развиты кордиерит-андалузитовые, андалузит-кордиерит-кварцевые (пятнистые) и кварц-хлорит-серицитовые (серые) роговики (А. П. Шерстобитов, 2018 г.). Участками они интенсивно сульфидизированы.

Типоморфные особенности золотого оруденения узла рассмотрены на наиболее исследованных рудных проявлениях Фронт, Плацдарм и Берентал (см. рис. 1).

Рудопроявление Фронт

Рудопроявление Фронт располагается в южной части Берентальского штока, на участке развития многочисленных дайко- и силлообразных апофиз, отходящих от массива в южном направлении. Оно было установлено в 40-х гг. прошлого века (И. Н. Карбивныч, 1944 г.). Прогнозная оценка сосредоточенных на нем ресурсов золота по результатам поисковых работ ООО «Золотодобывающая корпорация» в 2011–2015 гг. составляет 0.29 т (А. П. Шерстобитов, 2015 и 2018 г.).

По последним данным (А. П. Шерстобитов, 2018 г.), в пределах рудопроявления установлены 4 прогнозируемые рудные зоны, приуроченные к пологозалегающим силлообразным телам в различной степени грейзенизированных и березитизированных гранит-порфиров. Промышленное оруденение выявлено в рудной зоне № 1, вскрытой в истоках руч. Фронт двумя канавами и девятью скважинами колонкового бурения. В ней выделено рудное тело № 1, имеющее в плане сложную морфологию (рис. 2). В разрезе оно представляет собой пластовую субгоризонтальную залежь, сложенную системой сульфидно-кварцевых прожилков, гнезд и жил в зоне тектонической проработки в силле березитизированных гранит-порфиров (см. рис. 2).

Березитизированные граниты в рудном теле № 1 несут неравномерную вкрапленность зерен арсенопирита, леллингита и сфалерита или их агрегатов. Суммарный объем рудных минералов составляет до 20–30 % объема породы. Иногда в сростках с арсенопиритом отмечаются очень мелкие выделения пирита. В сульфидно-кварцевых прожилках, гнездах и жилах здесь выявлены две разновидности (минеральных подтипа) рудной минерализации.

Первая разновидность, описанная в работах Н. А. Горячева и П. П. Колесниченко (1990) и А. П. Шерстобитова (2015 и 2018 г.), представлена арсенопиритом, леллингитом, пиритом, пирротинном, железистым (до 12.1 мас. %) сфалеритом, галенитом, халькопиритом, висмутином, жозеитами А и В, хедлейитом, самородными золотом и висмутом.

В единичных зернах отмечены также вольфрамит, шеелит, антимонит, стефанит (?). Размер выделений самородного золота не превышает 0.5 мм (А. П. Шерстобитов, 2018 г.). Основная его масса представлена зернами с пробностью 800–900 ‰ (рис. 3, а).

Вторая разновидность присутствующего в рудном теле № 1 рудопоявления Фронт оруденения отличается от первой составом висмутовых минералов и самородного золота. Так же, как и первая разновидность, она представлена главным образом арсенопиритом и леллингитом. В небольшом количестве отмечаются пирит и сфалерит. В качестве микровключений, в основном в леллингите, реже в арсенопирите выявлены округлые выделения пирротина. Высокое содержание в сфалерите железа (до 13.7 мас. %) указывает на высокотемпературные условия ее формирования. Минералы висмутовой ассоциации представлены самородным висмутом, висмутином, переменного состава сульфотеллуридами висмута (табл. 1), мальдонитом. Среди них преобладают сульфотеллуриды висмута и мальдонит. Размер выделений самородного золота в штучной пробе не превышает 0.5 мм. Превалируют зерна с пробностью 900–950 ‰ (см. рис. 3, б). В одной из золотин в качестве микровключения по данным микрорентгеноспектрального анализа диагностирован теллурид золота.

В целом исследованное на рудопоявлении Фронт оруденение может быть отнесено

к висмут-сульфотеллуридному минеральному типу зоны с $\text{Au-Bi-Te} \pm \text{W}$ «стилем» минерализации RIRGD-систем с висмут-теллуридной и мальдонит-сульфотеллуридной его разновидностями, характеризующимися преобладанием в них соответственно средне- и высокопробного золота.

Спектральный и атомно-абсорбционный анализы материала штучных, концентратов проточных и шлиховых проб указывают на то, что сурьмяная и серебряная минерализация в висмут-сульфотеллуридном минеральном типе руд проявлена очень слабо (табл. 2).

Изучение пробности самородного золота из элювиально-склоновых образований, перекрывающих рудное тело № 1, показало, что висмут-теллуридная и мальдонит-сульфотеллуридная разновидности висмут-сульфотеллуридного типа оруденения присутствуют на нем примерно в равных пропорциях, при незначительном преобладании мальдонит-сульфотеллуридного подтипа руд (см. рис. 3, в). В очень небольшом количестве в элювиальных и склоновых отложениях отмечаются умереннонизкопробная и низкопробная генерации золота. Как было установлено (Литвиненко, Шилина, 2020), они свойственны сульфидно-сульфоарсенидному и серебро-полисульфидному минеральным типам оруденения, в зонах соответственно с **As-Au** и **Ag-Pb-Zn «стилем» минерализации** средней и периферийной частей RIRGD-систем.

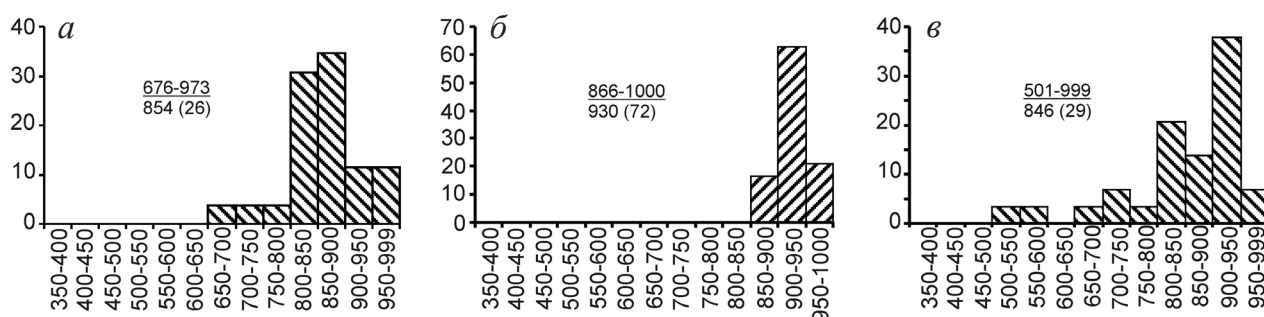


Рис. 3. Распределение пробности самородного золота в висмут-теллуридном (а) и мальдонит-сульфотеллуридном (б) минеральных подтипах руд и в элювиально-склоновых образованиях (в) рудопоявления Фронт. По оси абсцисс – классы пробности (‰), по оси ординат – частота встречаемости (%)

Примечание. В надписях на гистограммах указаны пределы колебаний пробности (над чертой), средняя пробность (под чертой) и количество исследованных золотин (в скобках). Здесь и далее гистограммы построены по средним пробностям золотин, рассчитанным как среднее арифметическое из 2–4 микрозондовых анализов. Гистограмма (а) – по материалам геолого-поисковых работ (А. П. Шерстобитов, 2018 г.).

Fig. 3. Distribution of native gold fineness in bismuth-telluride (а) and maldonite-sulfotelluride (б) mineral subtypes of ores, and in eluvial-slope formations (в) of the Front ore occurrence. Fineness classes (‰) are plotted on the abscissa, and the frequency (%), on the ordinate

Note. The inscriptions on the histograms present the limits of fineness fluctuations (above the line), the average fineness (below the line), and the number of studied gold particles (in brackets). Here and below, histograms are based on average fineness of gold particles calculated as the arithmetic mean for 2–4 microprobe analyses. Histogram (а) is based on the geological prospecting materials (А. P. Sherstobitov, 2018).

Таблица 1. Химический состав сульфотеллуридно-висмутовых минеральных фаз на рудопроявлении Фронт, мас. %

Table 1. Chemical composition of sulfotelluride-bismuth mineral phases at the Front ore occurrence, wt. %

Номер зерна	Минеральная фаза	Элемент						Полная формула
		Bi	Te	Cu	Sb	Se	S	
14	BiTe ₂ S	41.3	52.6	—	—	—	6.1	Bi _{0.99} Te _{2.06} S _{0.95}
19	BiTe ₃ S ₂	35.2	47.2	6.7	—	—	10.7	Bi _{1.03} (Te _{2.26} Cu _{0.66}) _{2.92} S _{2.05}
		35.1	49.9	5.5	—	—	9.5	Bi _{1.04} (Te _{2.43} Cu _{0.53}) _{2.96} S _{1.99}
		39.2	44.1	5.8	—	—	10.9	Bi _{1.17} (Te _{2.15} Cu _{0.57}) _{2.72} S _{2.11}
3	Bi ₂ Te ₄ S ₃	42.8	42.4	5.4	—	—	9.4	Bi _{2.02} (Te _{3.27} Cu _{0.84}) _{4.11} S _{2.87}
		41.9	43.4	5.0	—	—	9.7	Bi _{1.96} (Te _{3.33} Cu _{0.77}) _{4.10} S _{2.94}
6	Bi ₂ Te ₃ S ₂	47.2	42.4	2.6	0.2	0.5	7.1	(Bi _{1.91} Sb _{0.02}) _{1.93} (Te _{2.81} Cu _{0.35}) _{3.16} (Se _{0.05} S _{1.86}) _{1.91}
		47.6	39.3	3.8	0.1	0.2	9.0	(Bi _{1.81} Sb _{0.01}) _{1.82} (Te _{2.45} Cu _{0.48}) _{2.93} (Se _{0.02} S _{2.23}) _{2.25}

Примечание. Содержания элементов пересчитаны на сумму 100 %. Прочерк – элемент не обнаружен. Зерна проанализированы на микроанализаторе Camebax, детектор X-Max-50 (BiL_a, TeL_a, CuK_a, SbL_a, SeK_a, SK_a; ускоряющее напряжение 20 кВ; СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Т. В. Субботникова). Формульные коэффициенты минеральных фаз рассчитаны: фаза BiTe₂S – на 4 атома, фаза BiTe₃S₂ – на 6 атомов, фаза Bi₂Te₃S₂ – на 7 атомов, фаза Bi₂Te₄S₃ – на 9 атомов.

Таблица 2. Максимальные концентрации элементов в штучных пробах и концентратах шлиховых проб на рудопроявлениях Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла

Table 2. Maximum concentrations of elements in grab samples and heavy concentrate samples at ore occurrences within the Lower Myakit ore-placer cluster

Рудопроявление, участок	Материал	Элемент													
		Fe	As	Mo	Sn	Bi	W	Pb	Zn	Cu	Sb	Ni	Co	Au	Ag
Фронт	Руда (25)	6	16216	4	64	64	47	146	2703	25	—	45	41	37	3
	Элювий (10)	14	57152	13	270	20	79	469	3726	207	—	48	79	6	3
Плацдарм-1	Руда (9)	20	108249	8	38	10	6	117	849	134	80	114	185	56	19
Плацдарм-2	Руда (9)	6	11140	3	5	8	—	24	121	190	—	48	103	0.2	1
Кункуйский	Руда (12)	19	226114	11	20	28	—	188	174	366	146	34	166	16	30
	Элювий (74)	34	4433	24	22	—	—	276	825	183	—	447	203	5	3
Берентал	Руда (16)	10	34236	2	22	7	6	888	5587	108	35	21	31	1	22
	Элювий (11)	6	6682	—	85	—	78	4817	761	216	109	6	16	14	1035

Примечание. Au и Ag – по данным атомно-абсорбционного, остальные элементы – спектрального анализа. Fe – в мас.%, остальные элементы – в г/т. В скобках – количество проб. Прочерк – элемент не обнаружен.

Поскольку на Северо-Востоке России элювиальные и склоновые россыпи представляют собой в различной степени преобразованные современными элювиальными и склоновыми процессами иллювиально-остаточные концентрации кор выветривания эпохи планации рельефа (Литвиненко, 2021), в которых скапливалось золото из всех эродированных интервалов рудных колонн, то можно предположить очень незначительное развитие в эродированных частях рудопроявления Фронт сульфидно-сульфоарсенидного и серебро-полисульфидного типов оруденения.

Рудопроявление Плацдарм

Рудопроявление Плацдарм расположено в междуречье Плацдарм – Безрыбный. В ходе поисково-оценочных работ здесь установ-

лены три рудных проявления: Плацдарм-1, Плацдарм-2 и Кункуйское, приуроченных к рудоконтролирующей тектонической зоне Восточная (А. П. Шерстобитов, 2018 г.). Поскольку прогнозируемые рудные тела на них имеют продолжение на соседних проявлениях (рис. 4), то целесообразно их рассматривать как участки в составе единого рудопроявления Плацдарм. Оно локализовано в триасовых терригенных отложениях на восточном крыле Берентальской интрузивно-купольной структуры (см. рис. 1). По результатам поисково-оценочных работ в 2013–2016 гг. ООО «Золотодобывающая корпорация» на его площади пройдено 12 канав и 9 скважин колонкового бурения, что позволило выявить 5 рудных тел. Суммарные прогнозные ресурсы золота в них составляют 2.0 т.

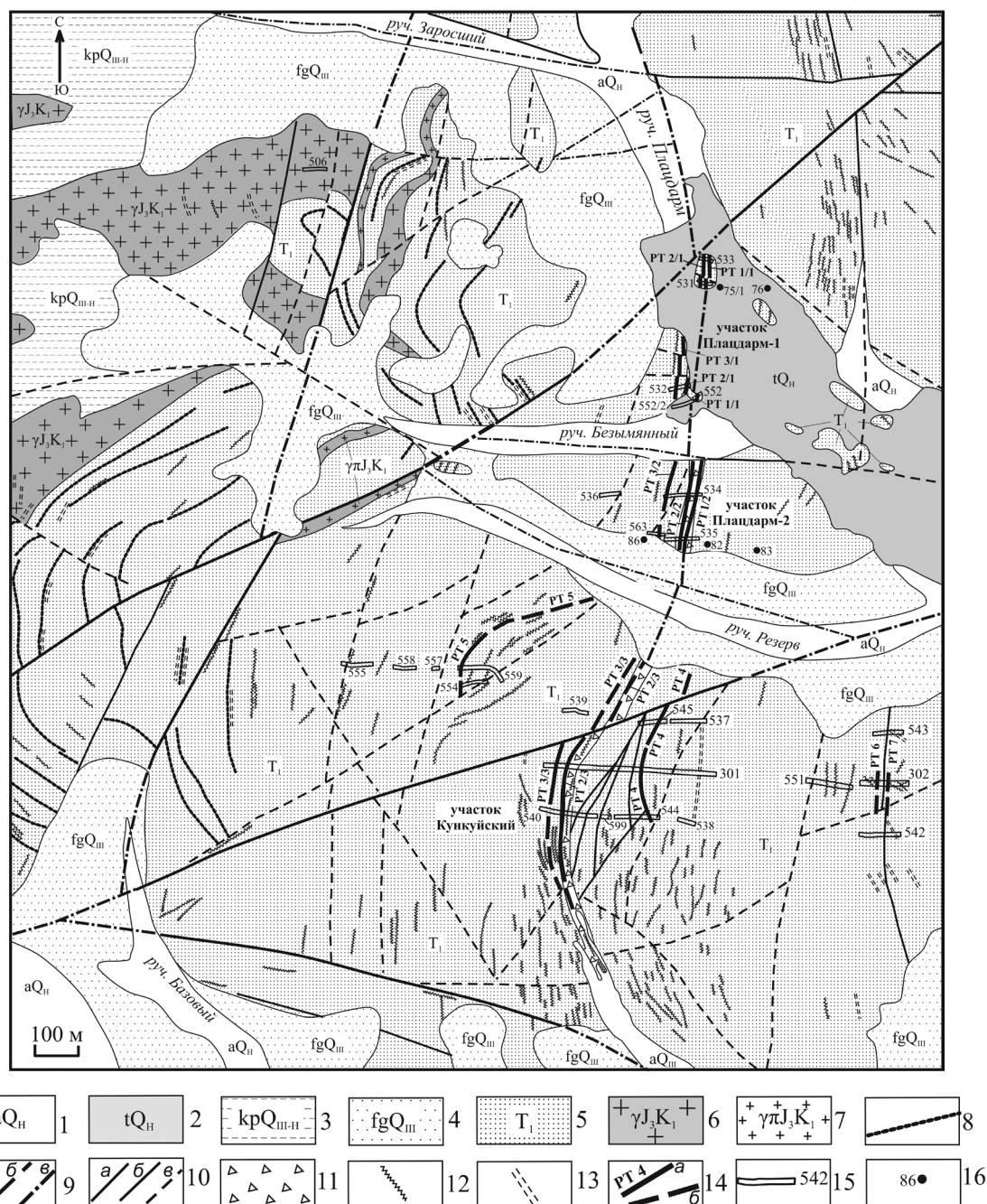


Рис. 4. Геологическая схема рудопоявления Плацдарм (по материалам А. П. Шерстобитова, 2018 г.): 1, 2 – голоценовые аллювиальные (1) и техногенные (2) галечники, пески, илы, суглинки; 3 – позднелепесточные – голоценовые коллювиально-пролювиальные отложения: глыбы, валуны, щебень, дресва, суглинок, песок; 4 – позднелепесточные флювиогляциальные и ледниковые отложения: песчано-глинистые образования с гравием, валунами, глыбами, галькой; 5 – раннетриасовые аргиллиты, алевролиты, песчаники; 6–8 – позднелюрско-раннемеловые мелкозернистые граниты (6), гранит-порфиры (7), дайки гранит-порфиров (8); 9, 10 – главные (9) и второстепенные (10) разломы: а – установленные, б – предполагаемые, в – скрытые под четвертичными отложениями; 11 – зоны дробления; 12 – кварцевые, сульфидно-кварцевые жилы; 13 – зоны кварцевых и сульфидно-кварцевых прожилков; 14 – прогнозируемые рудные тела и их номера: а – установленные, б – предполагаемые; 15 – каналы и их номера; 16 – буровые скважины и их номера

Fig. 4. Geological scheme of the Platzdarm ore occurrence, based on A. P. Sherstobitov materials (2018): 1, 2 – Holocene alluvial (1) and technogenic (2) pebbles, sands, silts, loams; 3 – Late Pleistocene – Holocene colluvial-proluvial deposits: blocks, boulders, break stone, grus, loam, sand; 4 – Late Pleistocene fluvio-glacial and glacial deposits: sandy-clayey formations with gravel, boulders, blocks, pebbles; 5 – Early Triassic mudstones, siltstones, sandstones; 6–8 – Late Jurassic-Early Cretaceous fine-grained granites (6), granite porphyries (7), granite-porphyry dikes (8); 9, 10 – main (9) and secondary (10) faults: a – established, b – assumed, v – hidden under Quaternary deposits; 11 – crushing zones; 12 – quartz, sulfide-quartz lodes; 13 – zones of quartz and sulfide-quartz veins; 14 – predicted ore bodies and their numbers: a – established, b – assumed; 15 – ditches and their numbers; 16 – boreholes and their numbers

Рудные тела представляют собой секущие по отношению к напластованию осадочных пород крутопадающие протяженные зоны смятия с элементами брекчирования пород, сопровождающиеся прожилково-жильным окварцеванием. Местами в них отмечаются участки развития тонкой вкрапленности сульфидов, системы сульфидно-кварцевых прожилков, гнезд и прожилков сульфидов.

На участке **Пладарм-1** в рудном теле № 2/1 в исследованной протолочной пробе из сульфидно-кварцевой жилы среди рудных минералов преобладает арсенопирит при подчиненной роли пирита и очень небольшом количестве сфалерита и самородного золота. В качестве микровключений в самородном золоте установлены галенит, ютенбогаардит и ксантоконит (?). В аншлифах, помимо арсенопирита, пирита и сфалерита, выявлены единичные мелкие зерна галеновисмутита (А. П. Шерстобитов, 2018 г.). Размер золотинок не превышает 1.0 мм. Их пробность колеблется от 716 до 886 ‰ (средняя – 799 ‰). Выделяются умереннонизкопробная (700–800 ‰) и среднепробная (800–900 ‰) группы (генерации) золота.

В протолочной пробе из серии сульфидно-кварцевых прожилков (рудное тело № 2/1) преобладает пирит. В меньшем количестве присутствует арсенопирит, в единичных зернах – халькопирит. Самородное золото представлено двумя разновидностями. Первая – это золото в сростках с сульфидами и кварцем. Размер его зерен до 0.5 мм. Пробность колеблется от 727 до 900 ‰ (преобладает золото пробностью 800–850 ‰). В качестве микровключений в низкопробных зернах установлен ютенбогаардит. Вторая разновидность включает золотины в сростках с кварцем и терригенными осадочными породами (очевидно, поступили из окварцованных пород). Их крупность достигает 2.0 мм, пробность колеблется от 670 до 788 ‰ (превалируют зерна пробностью 700–750 ‰). В качестве включений в таких золотилах, помимо пирита и арсенопирита, выявлены галенит, пирротин, в единичных зернах – акантит и ютенбогаардит.

Приведенные данные о минеральном составе руд указывают на развитие на участке Пладарм-1 преимущественно сульфидно-сульфоарсенидного типа оруденения зоны с As-Au «стилем» минерализации RIRGD-систем с умереннонизкопробным самородным золотом. Спорадически проявлена серебряная минерализация. Наличие по данным спектрального анализа в рудах Sb (см. табл. 2) указывает на развитие здесь и сурьмяной минерализации. В небольшом количестве присутствует висмут-сульфотеллуридный тип оруденения (висмут-теллуридный подтип) со среднепробным золотом (рис. 5, а).

На участке **Пладарм-2** точки опробования в рудном теле № 2/2 располагаются пример-

но на одном гипсометрическом уровне с точками опробования в рудном теле № 2/1 участка Пладарм-1. В исследованных системах сульфидно-кварцевых и кварцево-сульфидных прожилков и мелких сульфидно-кварцевых жил среди рудных минералов преобладают арсенопирит и пирит, в подчиненном количестве отмечается сфалерит. Незначительную долю составляют выделения халькопирита и пирротина. В аншлифах в ходе поисковых работ установлены также марказит, единичные мелкие выделения галеновисмутита и акантита (А. П. Шерстобитов, 2018 г.). Согласно результатам обработки протолочной пробы (А. П. Шерстобитов, 2018 г.), размер зерен золота в руде не превышает 1 мм. Их пробность колеблется от 532 до 854 ‰. Около 70 % золотинок имеет пробность в пределах 650–700 ‰ (см. рис. 3, б). Оруденение в основной своей массе относится к сульфидно-сульфоарсенидному минеральному типу.

На **Кункуйском** участке точки опробования в рудном теле № 2/3 гипсометрически расположены на 100 м выше точек опробования в рудном теле № 2/2 участка Пладарм-2. Оруденение представлено системами сульфидно-кварцевых, кварц-сульфидных и преимущественно сульфидных прожилков. Мощность прожилков составляет до 3–5 см. Среди рудных минералов преобладает арсенопирит. В нем в виде вкрапленности отмечаются халькопирит, сфалерит и ковеллин. Спектральным анализом в материале таких прожилков установлены повышенные концентрации Sb, а атомно-абсорбционным анализом – Ag (см. табл. 2). Это указывает на то, что в данных прожилках, помимо основной, сульфидно-сульфоарсенидной, также имеет место сурьмяная и серебряная минерализация. Размер зерен золота, выделенных из штучной пробы, не превышает 0.1 мм. Их пробность колеблется от 640 до 843 ‰, средняя составляет 724 ‰. Около 20 % зерен находятся в сростках с микропористым «горчичным» золотом, образовавшимся, очевидно, в результате гипергенного разложения золото-серебряных сульфидов. В протолочной пробе крупность золота достигает 1.0 мм (А. П. Шерстобитов, 2018 г.). Оно имеет пробность от 420 до 480 ‰, с преобладанием золотинок класса 450–500 ‰ (см. рис. 5, в).

На этом же участке у подножия склона опробованы системы сульфидно-кварцевых (предположительно потенциальное рудное тело № 6) и кварц-карбонатных (предположительно потенциальное рудное тело № 7) прожилков, располагающиеся гипсометрически ниже на 140 м по отношению к рудному телу № 2/3.

В шлиховых пробах, отобранных из элювиальных образований по рудному телу № 6, крупность золота достигает 0.5 мм. По проб-

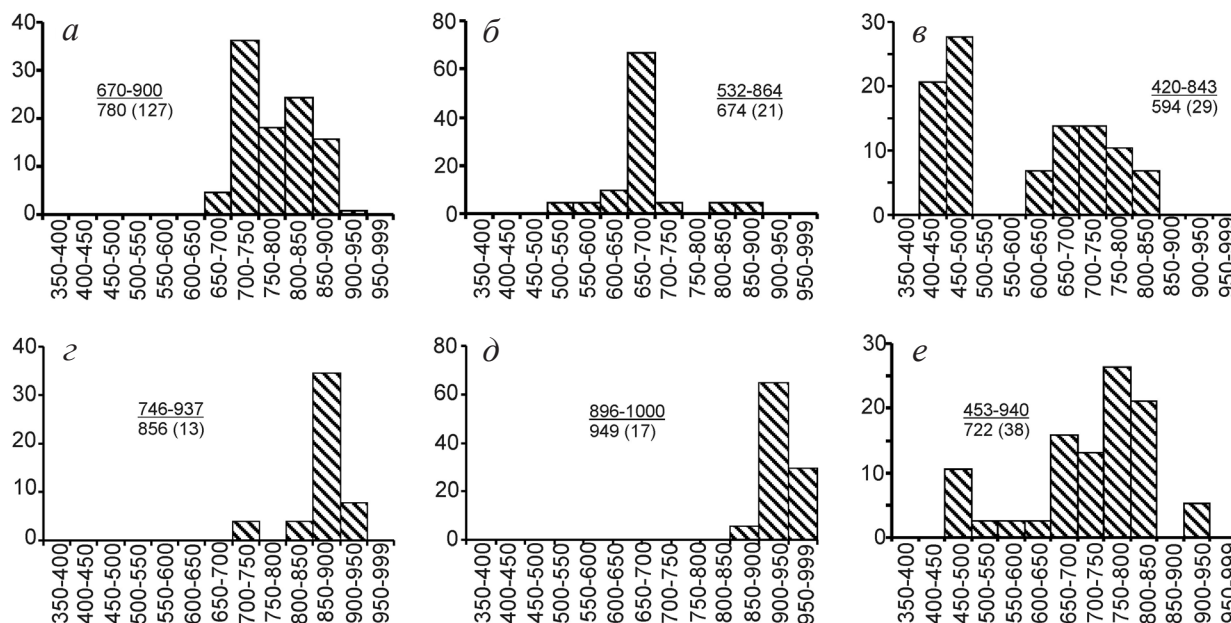


Рис. 5. Распределение пробности самородного золота в рудных телах и в элювиально-склоновых образованиях на рудопроявлении Плацдарм: а – участок Плацдарм-1, рудное тело № 2/1; б – участок Плацдарм-2, рудное тело № 2/2; в-е – участок Кункуйский, рудные тела № 2/3 (в), № 6 (г), № 7 (д), элювиально-склоновые образования (е). По оси абсцисс – классы пробности (%), по оси ординат – частота встречаемости (%)

Примечание. В надписях на гистограммах указаны пределы колебаний пробности (над чертой), средняя пробность (под чертой) и количество исследованных золотин (в скобках). Гистограммы (б) и (в) построены с использованием материалов геолого-поисковых работ (А. П. Шерстобитов, 2018 г.).

Fig. 5. Distribution of native gold fineness in ore bodies and in eluvial-slope formations at the Platzdarm ore occurrence: а – Platzdarm-1 site, ore body 2/1; б – Platzdarm-2 site, ore body 2/2; в-е – Kunkuy site, ore bodies 2/3 (в), 6 (г), 7 (д), eluvial-slope formations (е). Fineness classes (%) are plotted on the absciss and the frequency (%), on the ordinate

Note. The inscriptions on the histograms present the limits of fineness fluctuations (above the line), the average fineness (below the line), and the number of studied gold particles (in brackets). Histograms (б) and (в) are based on the geological prospecting materials (A. P. Sherstobitov, 2018).

ности выделяются две его генерации: основная – средне-высокопробная (845–937 ‰) и подчиненная – умереннонизкопробная (700–750 ‰) (см. рис. 5, г). Рудные минералы представлены пиритом и арсенопиритом. В штучной пробе из рудного тела № 7 масса рудных минералов составила около 10.0 %. В основном это арсенопирит. В небольшом количестве отмечены вольфрамит, самородное золото и мальдонит (или его сростки с самородным золотом). Самородное золото представлено зернами менее 0.1 мм. Их пробность колеблется от 896 до 1000 ‰ (см. рис. 5, д). Судя по минеральному составу и пробности самородного золота, предполагаемые рудные тела № 6 и 7 сложены оруденением висмут-сульфотеллуридного минерального типа.

В тяжелой фракции шлиховых проб из развитых на Кункуйском участке элювиально-склоновых образований резко преобладают гидроксиды железа, в отдельных пробах в незначительном количестве отмечается пирит, в единичных зернах – халькопирит, сфалерит. Данные спектрального анализа тяжелой фракции шлихов (см. табл. 2), резкое преобладание среди выделенных золотин умереннонизкопробных

разностей (см. рис. 5, е) указывают на развитие в эродированной части участка преимущественно сульфидно-сульфоарсенидного типа оруденения. Очень небольшое количество в шлихах низко- и высокопробных зерен золота свидетельствует о несущественной роли на нем висмут-сульфотеллуридного и серебро-полисульфидного типов руд.

В целом развитое на рудопроявление Плацдарм оруденение можно отнести к сульфидно-сульфоарсенидному (по классификации Н. А. Горячева и Г. Н. Гамянина, 2006) – висмут-арсенидно-сульфоарсенидному минеральному типу зоны с As-Au «стилем» минерализации RIRGD-систем с небольшим участием руд висмут-сульфотеллуридного и серебро-полисульфидного типов.

Рудопроявление Берентал

Рудопроявление Берентал включает в себя обширное поле развития зон сульфидно-кварцевого прожилкования в березитизированных гранитах северной части Берентальского штока. Граниты здесь представлены порфировидными мелкозернистыми разностями. Встречаются дай-

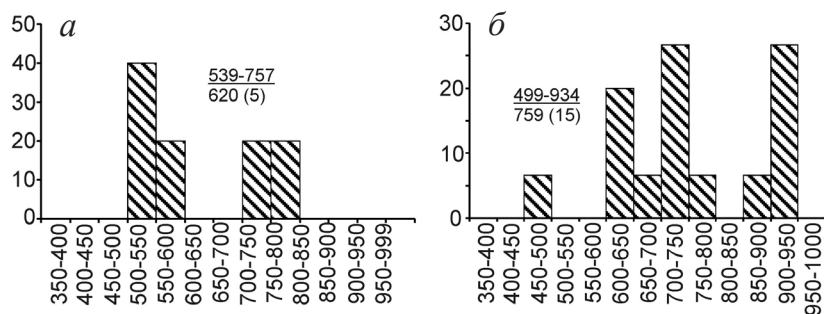


Рис. 6. Распределение пробыности самородного золота в руде (а) и в реликтах линейной коры выветривания по потенциальному рудному телу № 4 (б) на рудопроявлении Берентал. По оси абсцисс – классы пробыности (‰), по оси ординат – частота встречаемости (%)

Примечание. В надписях на гистограммах указаны пределы колебаний пробыности (над чертой), средняя пробыность (под чертой) и количество исследованных золотинок (в скобках). Гистограмма (а) построена по материалам геолого-поисковых работ (А. П. Шерстобитов, 2018 г.).

Fig. 6. Distribution of native gold fineness in the ore (a) and in relics of the linear weathering crust for potential ore body 4 (b) at the Berental ore occurrence

Note. The inscriptions on the histograms present the limits of fineness fluctuations (above the line), the average fineness (below the line), and the number of studied gold particles (in brackets). The histogram (a) is based on the geological prospecting materials (A. P. Sherstobitov, 2018).

ки гранит-порфиров и лейкогранит-порфиров, жилы аплитов. Внутреннее строение гранитного штока осложнено многочисленными разрывными нарушениями. Главные дизъюнктивные структуры имеют субмеридиональную и северо-восточную ориентировку, разломы второго порядка – северо-западную.

Геологические работы на рудопроявлении ведутся с 1983 г. (С. С. Юдин, В. В. Литвинцев, 1985 г.; В. М. Кузнецов, 1991 г.; В. Н. Егоров, 2004 г.; А. П. Шерстобитов, 2018 г.; и др.). Выявленные потенциальные рудные тела, представленные системами сульфидно-кварцевых прожилков, линз и гнезд, совпадают с участками развития в тектонических зонах северо-западного простирания гидротермалитов, выраженных в окварцевании, сульфидизации, серпентинизации и карбонатизации пород. В магистральной канаве, пройденной вкрест простирания рудолокализирующей Ташотинской тектонической зоны, выделено 5 рудных тел мощностью 0.8–1.0 м (А. П. Шерстобитов, 2018 г.). Прогнозные ресурсы золота в них оцениваются в 1.84 т.

Мощность сульфидно-кварцевых прожилков в рудных телах достигает 10–12 см. Иногда присутствуют брекчии гранитов с кварцевым цементом. Рудная минерализация в сульфидно-кварцевых линзах и прожилках составляет 5–30 %. По результатам исследований В. М. Кузнецова с соавторами (1990, 2011), она представлена пиритом, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом и халькопиритом. В ассоциации с ними в аншли-

фах отмечены редкие выделения кобеллита, галеновисмутита и блеклых руд. В протолочной пробе из кварцевой жилы обнаружены магнетит и пирит, в небольшом количестве арсенопирит, галенит, сфалерит, акантит и единичные зерна самородного золота, средняя пробыность которых по данным атомно-абсорбционного анализа составила 691 ‰ (Кузнецов и др., 1990).

Минералогические исследования руд в ходе поисково-оценочных работ ООО «Золотодобывающая корпорация» (А. П. Шерстобитов, 2018 г.) показали присутствие в рудах также выделений пирротина, молибденита, иорданита, пираргирита, стефанита и ксантоконита. Выявленные в ходе этих работ зерна золота (5 шт.) имеют размер менее 0.25 мм.

Их пробыность колеблется от 539 до 757 ‰. Выделяются низкопробная (преобладает) и умереннонизкопробная группы золота (рис. 6, а).

В исследованной авторами шлиховых пробах, отобранных из разрушенной и окисленной части рудного тела № 4, основная масса тяжелой фракции представлена сульфатом свинца в виде самостоятельных зерен и псевдоморфоз по галениту. В подчиненном количестве присутствуют оксиды и гидроксиды свинца, железа и марганца, выветрелые зерна биотита, галенит; небольшую долю составляют пирит, арсенопирит, гранат, ковеллин, самородные золото и свинец. В обломках рудного материала установлены галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, арсенопирит, леллингит, пирротин. Аналогичный минеральный состав руд наблюдался в штучных пробах, отобранных на других участках рудопроявления. Сфалерит на них характеризуется присутствием железа (до 15.42 мас. %) и марганца (до 1.99 мас. %).

Среди выделений золота в исследованных шлиховых пробах в массовом отношении преобладают зерна класса 0.1–0.25 мм. Установлены две разновидности золотинок: монолитные и микропористые («горчичное» золото). Пробыность монолитных золотинок, имеющих гипогенную природу, колеблется от 499 до 934 ‰ (см. рис. 6, б). Среди них выделяются три группы (генерации): низкопробная (представлена золотом с пробыностью 450–500 ‰), умереннонизкопробная (преобладает золото с пробыностью 600–

650 и 700–750 ‰) и средне-высокопробная (превалируют зерна с пробностью 900–950 ‰). Микропористые выделения сложены высокопробным (около 1000 ‰) золотом. Их образование, вероятнее всего, связано с гипергенным разложением золото-серебряных сульфидов.

Преобладание в остаточных россыпях реликтов зоны окисления рудного тела № 4 умеренно-низкопробной и средне-высокопробной генераций самородного золота (см. рис. 6, б) указывает на развитие на участке Берентал преимущественно висмут-сульфотеллуридного и сульфидно-сульфоарсенидного типов оруденения зон с Au-Bi-Te ± W и As-Au «стилем» минерализации RIRGD-систем и ограниченное распространение руд серебро-полисульфидного минерального типа.

СТРОЕНИЕ РОССЫПЕЙ И ТИПОМОРФИЗМ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА НИЖНЕ-МЯКИТСКОГО РУДНО- РОССЫПНОГО УЗЛА

Нижне-Мякитский рудно-россыпной узел включает в себя россыпные месторождения р. Мякит и ее левых боковых притоков (см. рис. 1). Долины водотоков хорошо разработаны, корытообразной формы. Аллювий залегает на реликтах линейной коры химического выветривания, материал которой присутствует и в аллювиальных отложениях (Шилина, Соцкая, 2018).

Россыпи располагаются преимущественно в пойменной части долин. Богатые участки в них совпадают с местами пересечения долинами рудоносных зон дробления (см. рис. 1). Золотоносный пласт приурочен к реликтовым образованиям линейной коры химического выветривания и нижним горизонтам аллювия. Степень обработки золота слабая. Доля неокатанных зерен по месторождениям составляет до 76 %. Большое количество золотин (до 92 %) содержат высокопробные гипергенные оболочки. Все это указывает на то, что россыпные месторождения узла сформировались в ходе развития аллювиальных процессов в новейший тектонический этап в результате слабого преобразования остаточных россыпей кор выветривания эпохи планации рельефа, при существенном сохранении их реликтов. Это обуславливает тесную сопряженность расположения россыпей с местоположением их коренных источников.

Детальное изучение типоморфных свойств самородного золота россыпных месторождений узла (Литвиненко, Шилина, 2020) показало, что они образовались, как уже отмечалось, за счет многочисленных рудных проявлений, располагавшихся на всем протяжении россыпей и представленных серебро-полисульфидным, сульфидно-сульфоарсенидным и висмут-сульфотеллуридным минеральными типами орудене-

ния, связанного с Берентальским гранитным массивом. Основным коренным источником золота в россыпи руч. Кункуй служил сульфидно-сульфоарсенидный тип оруденения, в россыпи руч. Плацдарм – сульфидно-сульфоарсенидный и висмут-сульфотеллуридный. В формировании россыпных месторождений руч. 14-я Верста, Берентал и р. Мякит, наряду с сульфидно-сульфоарсенидным, существенную роль играл серебро-полисульфидный тип. Россыпь руч. Забытый образовалась в результате разрушения преимущественно висмут-сульфотеллуридного типа оруденения.

В целом можно констатировать, что россыпные месторождения узла сформировались главным образом за счет разрушения рудных проявлений Берентальской RIRGD-системы с сульфидно-сульфоарсенидным (зона с As-Au «стилем» минерализации) и серебро-полисульфидным (зона с Ag-Pb-Zn «стилем» минерализации) типами руд. При сложных взаимоотношениях различных типов оруденения в бассейнах водотоков по мере удаления от выхода на поверхность Берентальского интрузивного массива отмечается тенденция смены сульфидно-сульфоарсенидного типа оруденения коренных источников россыпей серебро-полисульфидным.

Максимально серебро-полисульфидный тип оруденения проявился в формировании россыпей р. Мякит и руч. Берентал. На участках, наиболее удаленных от выхода на поверхность Берентальского интрузива, в этих россыпях доля низкопробной генерации самородного золота, поступившей в результате разрушения серебро-полисульфидного типа руд, достигает 89 %. Развитие на данных участках серебро-полисульфидного типа оруденения подтверждается повышенным содержанием в коренных породах и в тяжелой фракции шлиховых проб Ag, Pb и Zn (рис. 7), широким проявлением в присутствующих здесь зонах окварцевания и сульфидизации полиметаллической минерализации.

Основная масса тяжелой фракции отобранных из россыпных месторождений шлихов представлена оксидами и гидроксидами железа, гематитизированными и лимонитизированными обломками пород, в незначительном количестве отмечаются оксиды марганца. Из рудных минералов, помимо самородного золота, постоянно присутствуют пирит, арсенопирит, пирротин, касситерит, ильменит. На участках с повышенным содержанием средне- и высокопробного самородного золота отмечаются молибденит, шеелит, вольфрамит, самородный висмут. В россыпях или на их участках с преобладанием низкопробных разновидностей самородного золота присутствуют галенит, сфалерит, халькопирит, антимонит, акантит.

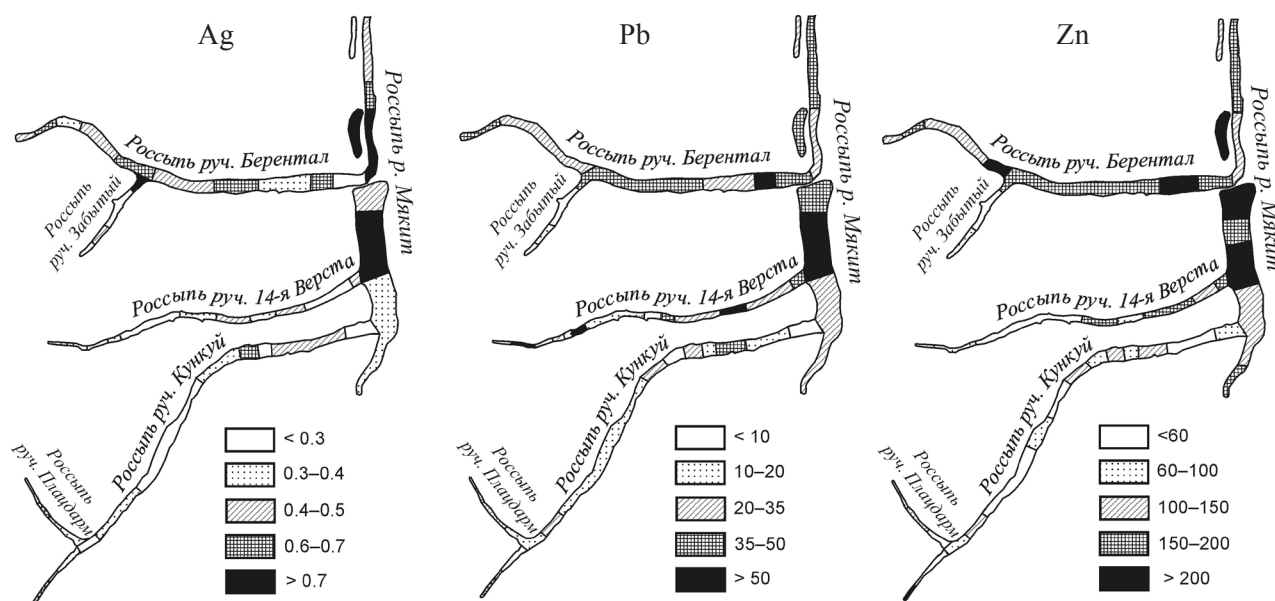


Рис. 7. Схема распределения по данным спектрального анализа содержаний (г/т) серебра, свинца и цинка в породах коренного основания речных долин, вмещающих россыпные месторождения Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла

Fig. 7. Schematized distribution of silver, lead, and zinc in rocks of the root base of the river valleys hosting placers within the Lower Myakit ore-placer cluster, according to the data from the spectral analysis of the contents (g/t)

Таблица 3. Минеральный состав микровключений в самородном золоте россыпных месторождений Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла, %

Table 3. Mineral composition of microinclusions in native gold of placer deposits of the Lower Myakit ore-placer cluster, %

Минеральный тип оруденения коренного источника	Пирит	Арсено-пирит	Пирротин	Леллингит	Галенит	Сфалерит	Акантит	Халькопирит	Ютенбо-гаардтит	Тетрадимит	Теллурид Bi	Самородные			Сульфотеллуриды		Висмутосульфосили	
												Bi	Pb	Sb	Bi	Ag	Pb	Pb-Ag
Серебро-полисульфидный	4	11	11	–	41	4	4	–	4	–	4	7	4	4	–	–	4	–
Сульфидно-сульфоарсенидный	8	17	–	8	17	–	–	8	–	–	8	17	–	–	–	8	–	8
Висмут-сульфотеллуридный	17	–	–	–	–	–	–	–	–	17	17	33	–	–	17	–	–	–

Примечание. Прочерк – минерал не обнаружен.

Вторичные рудные минералы зоны окисления здесь представлены халькозином, «горчиным» золотом, самородной медью и серебром. В россыпных месторождениях узла присутствуют три генерации самородного золота: средневысокопробная, умереннонизкопробная и низкопробная. Их связь соответственно с висмут-сульфотеллуридным, сульфидно-арсенидным и серебро-полисульфидным типами минерализации (Литвиненко, Шилина, 2020) позволяет по составу микровключений получить дополнительную минералогическую характеристику оруденения Берентальской RIRGD-системы, прежде всего зоны с Ag-Pb-Zn «стилем» минерализации в ее периферийной части (табл. 3).

Выявленные парагенетические ассоциации микровключений в самородном золоте, поступившем в россыпи из различных минеральных типов коренных источников, подчеркивают формирование разнотипного золотого оруденения Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла в ходе развития единой рудно-магматической системы.

МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ РУДООБРАЗОВАНИЯ В БЕРЕНТАЛЬСКОЙ RIRGD-СИСТЕМЕ

Приведенные материалы о минеральном составе рудных проявлений и россыпных месторождений Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла указывают на то, что при сложных взаимоотношениях различных типов оруденения на площади узла

по мере удаления от выхода на поверхность Берентальского интрузивного массива отмечается тенденция смены оруденения висмут-сульфотеллуридного типа апикальной зоны с Au-Bi-Te «стилем» минерализации сульфидно-сульфоарсенидным проксимальной зоны с As-Au «стилем» минерализации и далее серебро-полисульфидным дистальной зоны с Ag-Pb-Zn «стилем» минерализации (рис. 8). Это хорошо согласуется с установленной на золоторудных месторождениях Аляски зональностью рудно-магматических систем, связанных с интрузивами гранитоидов (Hart, 2007). Вектор зональности формирующегося рудного ряда (от более ранних и высокотемпературных его членов к более поздним низкотемпературным) имеет центробежную ориентировку.

Вопрос о причинах формирования латеральной зональности развития оруденения в RIRGD-системах очень сложный и требует специального изучения. По представлениям С. Ф. Стружкова и М. М. Константинова (2005), одним из основных факторов формирования зональности в рудных системах может быть дефицит лигандов в гидротермальном растворе, циркулирующем от «мате-

ринского» гранитоидного очага к области рудоотложения. Другим немаловажным фактором, по их мнению, может являться преобладающая роль горизонтальных движений палеогидротерм, обусловленная значительным участием в процессе рудообразования метеорных вод.

Наряду с латеральной, хотя и менее определенно, отмечается вертикальная зональность развития оруденения. Во всех отмеченных выше латеральных зонах в незначительном количестве присутствуют типы руд, не отвечающих их «стилю» минерализации и которые в полном объеме развиты в соседних зонах, где они являются продуктивными. В совокупности с продуктивным для данной зоны минеральным типом руд они составляют вертикальную зональность развития оруденения. С глубиной серебряно-полисульфидный тип рудной минерализации сменяется сульфидно-сульфоарсенидным и ниже висмут-сульфотеллуридным. Присутствие аналогов продуктивных типов руд в редуцированном виде во всех соседних зонах указывает на происхождение различных типов оруденения в единой рудно-магматической системе.

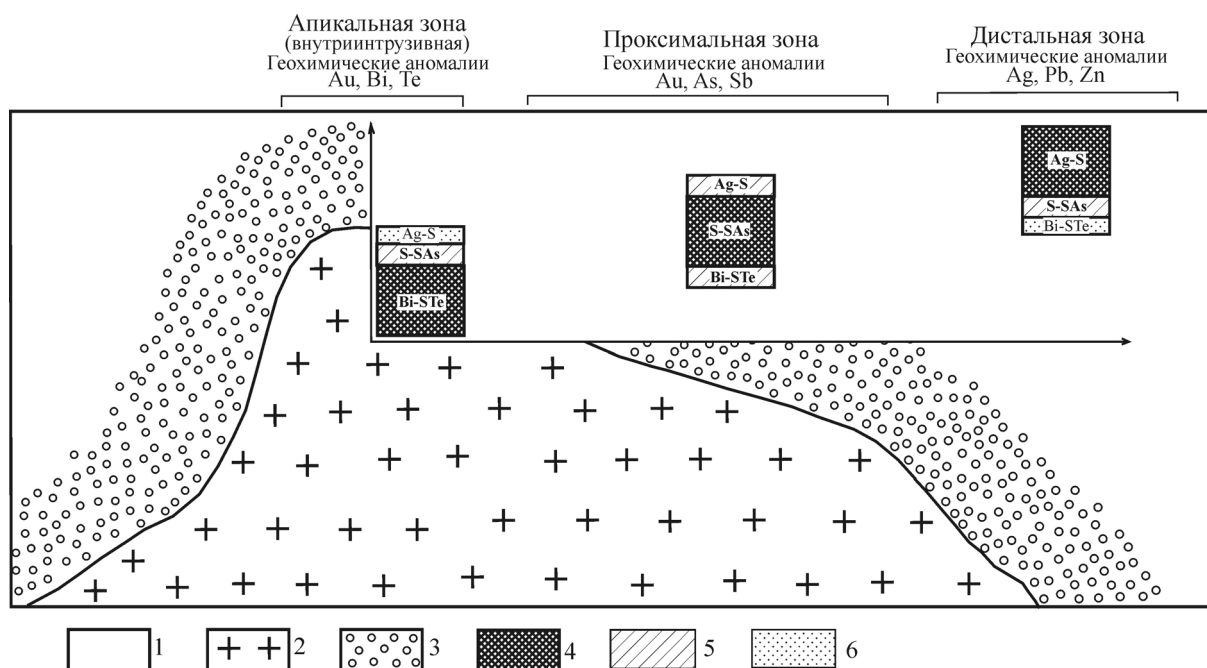


Рис. 8. Схематическая модель развития оруденения Берентальской RIRGD-системы (использованы элементы прогнозно-поисковой модели золото-полисульфидно-кварцевых (связанных с интрузивами) месторождений А. П. Шерстобитов, 2018 г.). На врезке: по оси ординат – относительное геологическое время, по оси абсцисс – условное расстояние от рудоносного очага: 1 – терригенные породы; 2 – гранитный массив; 3 – роговики; 4–6 – на врезке главные продуктивные (4), подчиненные (5) и проявленные спорадически (6) минеральные типы оруденения: Bi-Ste – висмут-сульфотеллуридный, S-SAs – сульфидно-сульфоарсенидный и Ag-S – серебро-полисульфидный

Fig. 8. Schematic model of mineralization development in the Berenthal RIRGD system, using elements of a forecast-prospecting model of gold-polysulfide-quartz deposits, associated with intrusions (A. P. Sherstobitov, 2018). Inset: ordinate presents relative geological time; abscissa, conditional distance from the ore-bearing chamber: 1 – terrigenous rocks; 2 – granite massif; 3 – hornfelses; 4–6 – on the inset, the main productive (4), subordinate (5), and sporadically manifested (6) types of mineralization: Bi-Ste – bismuth-sulfotelluride, S-SAs – sulfide-sulfoarsenide, and Ag-S – silver-polysulfide

Минералы	Грейзены	Минеральные типы оруденения		
		Висмут-сульфо-теллуридный (зона Au-Bi-Te минерализации)	Сульфидно-сульфоарсенидный (зона As-Au минерализации)	Серебро-полисульфидный (зона Ag-Pb-Zn минерализации)
Кварц				
Альбит				
Биотит				
Адуляр				
Карбонаты				
Мусковит (серицит)				
Хлорит				
Рутил				
Гранат				
Шпинель				
Циркон				
Турмалин				
Андалузит				
Магнетит (титаномagnetит)				
Ильменит				
Пирротин				
Пирит				
Арсенопирит				
Леллингит				
Самородный висмут				
Висмутин				
Теллуриды висмута				
Сульфотеллуриды висмута				
Галеновисмутит				
Мальдонит				
Кобеллит				
Самородное золото (900–1000 ‰)				
Самородное золото (800–900 ‰)				
Самородное золото (700–800 ‰)				
Самородное золото (400–700 ‰)				
Сфалерит				
Галенит				
Халькопирит				
Молибденит				
Вольфрамит				
Шеелит				
Антимонит				
Иорданит				
Стефанит				
Пираргирит				
Сульфоарсениды серебра				
Акантит				
Сульфотеллуриды серебра				
Висмутовые сульфосоли свинца и серебра				
Марказит				?
Ютенбогаардит				?
Самородное серебро				?

Главные минералы
 Второстепенные минералы
 Редкие минералы

Рис. 9. Схема минералообразования в золоторудной RIRGD-системе, связанной с Берентальским интрузивом. Составлена с использованием материалов Н. А. Горячева и П. П. Колесниченко (1990), Н. Е. Саввы и др. (2003), В. М. Кузнецова и др. (2011), Н. Н. Поздняковой и др. (2019), Р. Н. Ивасенко и др. (2020), А. П. Шерстобитова (2018 г.)

Примечание. Марказит, ютенбогаардит и самородное серебро могут иметь гипергенное происхождение.

Fig. 9. Scheme of mineral formation in the gold-ore RIRGD-system associated with the Berenthal intrusion; based on materials of N. A. Goryachev and P. P. Kolesnichenko (1990), N. E. Savva et al. (2003), V. M. Kuznetsov et al. (2011), N. N. Pozdnyakova et al. (2019), R. N. Ivasenko et al. (2020), A. P. Sherstobitov (2018)

Note. Marcasite, uytenbogaardite, and native silver may be of the supergene origin.

Минералого-геохимические условия пространственно-временной последовательности развития оруденения рудно-магматической системы, связанной с Берентальским интрузивом, находят отражение в минеральном составе формирующихся типов руд (рис. 9). Основной состав рудных минералов во всех типах оруденения определяют пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит и халькопирит, присутствующие в минеральных типах руд в различных пропорциях (см. рис. 9). Сквозной характер распространения имеют также пирротин и, что очень важно, самородный висмут, присутствие которого во всех типах руд играет роль «минералогической подписи», подчеркивая развитие разнотипного золотого оруденения Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла в единой рудно-магматической системе.

В проксимальной и дистальной зонах отмечается тенденция к обеднению спектра висмутовых минералов в висмут-сульфотеллуридном типе оруденения. Очевидно, это обусловлено дифференциацией состава палеогидротерм по мере их продвижения от «материнской» Берентальской интрузии, служившей основным источником рудного вещества. Между тем разнообразие висмутовых минералов в данном типе руд в апикальной зоне в какой-то мере может определяться не только составом исходных растворов, но и повышенным присутствием **Bi** во вмещающих оруденение гранитах (коэффициент концентрации висмута в Берентальском штоке относительно кларка составляет 44.81 (А. П. Шерстобитов, 2018 г.)).

В целом полученные материалы указывают на формирование золотой минерализации рудных проявлений Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла на протяжении двух этапов. Первый основной этап обусловлен развитием в позднеюрско-раннемеловое время рудно-магматической системы, связанной со становлением Берентальского гранитного интрузива, когда, собственно, и было сформировано разнотипное золотое оруденение Нижне-Мякитского узла. Второй этап, протекавший в палеогене и неогене в эпоху планации рельефа, выразился в формировании зоны окисления на вскрывшихся рудных телах. Активное химическое выветривание руд в зоне развития процессов гипергенеза сопровождалось образованием глинистых минералов, оксидов и гидроксидов железа и марганца, оксидов и сульфатов свинца, скородита, самородных меди и серебра и их сульфидов, вторичного (губчатого и «горчичного») самородного золота и др. На интенсивность гипергенных преобразований руд в этот период указывает большое количество

в россыпях сростков золотинок с губчатым и «горчичным» золотом. В новейший тектонический этап зоны окисления в основной своей массе были эродированы. На современном уровне эрозионного среза и ниже гипергенные минералы в составе руд существенной роли не играют.

Важно, что присутствие аналогов продуктивных ассоциаций в редуцированном виде во всех соседних членах рудного ряда, сквозной характер развития в минеральных типах руд самородного висмута указывают на то, что на золоторудных объектах Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла золото-серебряная минерализация не связана с позднемеловым этапом развития оруденения золото-серебряного формационного типа. Она входит в серебро-полисульфидный минеральный тип оруденения, который совместно с висмут-сульфотеллуридным и сульфидно-сульфоарсенидным типами формировался в ходе развития единой рудно-магматической системы, связанной с Берентальским интрузивом. В качестве особенностей минерального состава руд можно отметить относительно повышенную распространенность среди висмутовых минералов мальдонита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для Берентальской рудно-магматической системы охарактеризован весь латеральный ряд оруденения, в отличие от большинства ранее выполненных работ, посвященных описанию золото-висмутовой минерализации в гранитоидах (месторождения Школьное, Бутарное, рудопроявление Штокское и др.). Комплексный подход к изучению золотого оруденения Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла позволил рассмотреть входящие в ее состав разрозненные точки проявлений рудной минерализации с позиции RIRGD-систем, т. е. систем, формирующихся в тесной связи с восстановленными интрузивами. Полученные факты подтверждают, что она обладает всеми признаками подобной золоторудной системы (Thompson et al., 1999).

Для нее характерно следующее:

оруденение представлено минеральными типами: серебро-полисульфидным с низкопробным, сульфидно-сульфоарсенидным с умеренно-низкопробным и висмут-сульфотеллуридным со средне-высокопробным золотом;

латеральная зональность распределения указанных типов руд отражает пространственно-временную последовательность развития всего оруденения от висмут-сульфотеллуридного типа апикальной (внутриинтрузивной) зоны к сульфидно-сульфоарсенидному проксимальной зоны и далее к серебро-полисульфидному дис-

тальной зоны, характеризующихся соответственно **Au-Bi-Te**, **As-Au** и с **Ag-Pb-Zn «стилями»** минерализации;

в пределах зон, помимо основного (продуктивного) минерального типа оруденения, в редуцированном виде присутствуют минеральные типы руд соседних зон;

вертикальная зональность руд выражается в смене с глубиной серебряно-полисульфидного типа сульфидно-сульфоарсенидным и ниже висмут-сульфотеллуридным;

сквозной характер распространения пирротина и минералов висмута в рудах.

Признание преобладающей роли латеральной зональности в развитии оруденения RIRGD-системы Берентальского интрузива позволяет прогнозировать при поисковых работах на подобных объектах обнаружение новых крупных месторождений методом палеогидродинамических реконструкций и «пропущенного звена». Пространственная разобщенность минеральных типов оруденения должна учитываться при поисковых работах и анализироваться как «звенья» единой рудно-магматической системы, пространственно сближенные и генетически связанные с интрузивами.

ЛИТЕРАТУРА

- Горячев Н. А., Гамянин Г. Н. Золото-висмутовые (золото-редкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения // Золоторудные месторождения Востока России : Труды III Всерос. симпозиума «Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология» (Улан-Удэ, 21–25 сент. 2004 г.). Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2006. С. 50–61.
- Горячев Н. А., Колесниченко П. П. Граниты и грейзены Мякитского интрузива как пример локальной рудно-магматической системы // Рудно-магматические системы Северо-Востока СССР : сб. науч. тр. / под ред. Н. А. Шило, В. И. Гончарова. Хабаровск : Хабар. политехн. ин-т, 1990. С. 41–53.
- Зименко М. И., Карелин Ю. П., Зименко Е. А., Жигулина А. С., Воропаев В. С. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 : изд. 2-е. Сер. Сугойская. Лист Р-56-XXI (Мякит): Объяснительная записка. Санкт-Петербург : Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2018. 192 с.
- Ивасенко Р. Н., Попов Ю. В., Фомина М. И., Михалицына Т. И., Скильская Е. Д. Минеральные ассоциации золоторудных проявлений Берентальского рудного поля (Северо-Восток России) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2020. № 1. С. 53–61. DOI: 10.18522/1026-2237-2020-1-53-61
- Константинов М. М., Некрасов Н. М., Сидоров А. А., Стружков С. Ф. Золоторудные гиганты России и мира. Москва : Научный мир, 2000. 272 с.
- Кузнецов В. М., Горячев Н. А., Жигалов С. В., Савва Н. Е. Структура и рудоносность Мякит-Хурчанского рудно-россыпного узла // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2011. № 4. С. 37–51.
- Кузнецов В. М., Лушников Л. А., Степанов В. А. Оценка формационной принадлежности коренных источников по типоморфным особенностям россыпного золота // Колыма. 1990. № 12. С. 6–11.
- Литвиненко И. С. Роль остаточных концентраций золота кор выветривания в формировании элювиальных и элювиально-склоновых россыпей Верхнего Приколымья // Россыпи и месторождения кор выветривания XXI века: задачи, проблемы, решения : Материалы XVI Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (г. Воронеж, ВГУ, 13–18 сентября 2021 г.). Воронеж : ООО «Цифровая полиграфия», 2021. С. 119–121.
- Литвиненко И. С., Шилина Л. А. Реконструкция коренных источников россыпных месторождений Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла (Северо-Восток России) на основе изучения типоморфных признаков россыпного золота // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2020. № 1. С. 30–46. DOI: 10.34078/1814-0998-2020-1-30-46
- Позднякова Н. Н., Ивасенко Р. Н., Роднов Ю. Н., Попов Ю. В. Типоморфизм самородного золота рудопроявлений Берентальского рудного поля, Магаданская область // Руды и металлы. 2019. № 3. С. 61–70. DOI: 10.24411/0869-5997-2019-10024
- Савва Н. Е., Парфенов М. И., Комина В. И. Генетическая природа бимодального распределения пробыности шлихового золота россыпи руч. Плацдарм (южные отроги Мякитского интрузива) // Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин Севера Пацифики : в 3-х т. : Материалы Всерос. совещ., посвящ. 90-летию акад. Н. А. Шило (XII годичное собрание Сев.-Вост. отделения ВМО). Магадан, 3–6 июня 2003 г. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 3. С. 132–135.
- Сидоров А. А. Золото-порфировые месторождения Северо-Востока России // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики : в 2 т. Т. 2. Рудная минерализация и петрогенезис : Труды Всерос. совещ. Магадан, 4–6 сент. 1997 г. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 106–109.
- Стружков С. Ф., Константинов М. М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Москва : Научный мир, 2005. 320 с.
- Фогельман Н. А., Константинов М. М., Курбанов Н. К. Принципы систематики золоторудных месторождений для прогноза и поисков // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 31–41.
- Шилина Л. А., Соцкая О. Т. Особенности строения и условия формирования россыпных месторождений золота Нижне-Мякитского рудно-россыпного узла (Северо-Восток России) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2018. № 4. С. 49–62.
- Hart C. J. R. Reduced intrusion-related gold systems // Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods / ed. W. D. Goodfellow, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. 2007. No. 5. P. 95–112.

Lang J. R., Baker T. Intrusion-related gold systems: The present level of understanding // *Mineralium Deposita*. 2001. Vol. 36. P. 477–489.

Thompson J. F. H., Newberry R. J. Gold deposits related to reduced granitic intrusions // *Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology*. 2000. Vol. 13. P. 377–400.

Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // *Mineralium Deposita*. 1999. Vol. 34. P. 323–334.

Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., Mortensen J. K. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // *Mineralium Deposita*. 1999. Vol. 34. P. 323–334.

Поступила в редакцию 07.04.2022 г.

Поступила после доработки 17.05.2022 г.

GOLD MINERALIZATION OF THE LOWER MYAKIT ORE-PLACER CLUSTER (North-East Russia)

I. S. Litvinenko¹, L. A. Shilina²

¹North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

²Magadan Oblast Local Museum, Magadan

A comprehensive study of native gold and ore mineral parageneses of the Berental intrusive-dome structure in the southeastern part of the Yano-Kolyma gold-bearing belt has been carried out. The zonality of mineralization is shown: from the central part (in the Berental stock endocontacts) with the Au-Bi-Te mineralization “style” to – As-Au (in the exocontacts of the stock) and, further, to Ag-Pb-Zn on the periphery. In the same direction changes the fineness of native gold in ores, from high and medium to low fineness. Antimony mineralization was noted at the final stage of ore formation. Vertical zoning is expressed in the silver-polysulfide type of mineralization changing with depth to sulfide-sulfoarsenide and, lower, bismuth-sulfotelluride. A rare mineral, maldonite (Au₂Bi), is relatively widespread. The end-to-end ore minerals are pyrrhotite, native bismuth, and its tellurides. The obtained facts permitted to attribute the hydrothermal system of the Berental stock to the RIRGD type, i. e. to gold deposits associated with restored intrusives, which can contribute to the improvement of the methodology for prospecting and evaluation works at deposits of this type and to the discovery of large occurrences in terms of reserves.

Keywords: North-East Russia, gold mineralization, RIRGD system, zonality, mineral types of ores.

REFERENCES

- Goryachev, N. A., Gamyagin, G. N., 2006. Gold-Bismuth (Gold-Rare-Metal) Deposits in Russia's North-East: Mineral Types and Industrial Prospects, *Gold Deposits in the East of Russia, Proceedings of the 3rd Symposium “Gold Reserves of Siberia and the Far East: Geology, Geochemistry, Technologies, Economics, and Ecology”* (Ulan-Ude, September 21–25, 2004). Magadan, NESCFEB RAS. 50–61 [In Russian].
- Goryachev, N. A., Kolesnichenko, P. P., 1990. Granites and Greisens of the Myakit Intrusion as an Example of a Local Ore-Magmatic System, *Ore-Magmatic Systems in the North-East of the USSR*, Eds. N. A. Shilo, V. I. Goncharov. Khabarovsk, Khabarovskiy Polytechnichesky Institut. 41–53 [In Russian].
- Hart, C. J. R., 2007. Reduced Intrusion-Related Gold Systems, *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*, Ed. W. D. Goodfellow, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. 5, 95–112.
- Ivasenko, R. N., Popov, Yu. V., Fomina, M. I., Mikhailitsyna, T. I., Skilskaya, E. D., 2020. Mineral Associations of Gold-Ore Occurrences, Berental Ore Cluster (North-East of Russia), *Bulletin of Higher Education Institutes North Caucasus Region. Natural Science*. 1, 53–61 [In Russian].
- Konstantinov, M. M., Nekrasov, E. M., Sidorov, A. A., Struzhkov, S. F., 2000. Gold-Ore Giants of Russia and the World. Moscow, Scientific World [In Russian].
- Kuznetsov, V. M., Goryachev, N. A., Zhigalov, S. V., Savva, N. E., 2011. Structural Setting and Ore Minerals of the Myakit-Khurchan Mineral District, *Vestnik NESCFEB RAS*. 4, 37–51 [In Russian].
- Kuznetsov, V. M., Lushnikov, L. A., Stepanov, V. A., 1990. Evaluating Formational Attribution of Lode Sources by Placer Gold Typomorphism, *Kolyma*. 12, 6–11 [In Russian].
- Lang, J. R., Baker, T., 2001. Intrusion-Related Gold Systems: The Present Level of Understanding, *Mineralium Deposita*. 36, 477–489.
- Litvinenko, I. S., 2021. The Role of Residual Gold Concentrations in Weathering Crusts in the Formation of Eluvial and Eluvial-Slope Placers in the Upper Prikolymye, *Placers and Deposits of Weathering Crusts in the 21st Century: Tasks, Problems, Solutions, Proceedings of the 16th International Meeting on the Geology of Placers*

and Deposits of Weathering Crusts (Voronezh, Voronezh State University, September 13–18, 2021). Voronezh. 119–121 [In Russian].

Litvinenko, I. S., Shilina, L. A., 2020. Reconstruction of Placer Hard Rock Sources in the Lower Myakit Ore-Placer Knot (Russia's North-East) Based on Studies of Native Gold, *Bulletin of the North-East Science Center*. 1, 30–46 [In Russian].

Pozdnyakova, N. N., Ivasenko, R. N., Rodnov, Yu. N., Popov, Yu. V., 2019. Native Gold Typomorphism in Mineral Occurrences within the Berental Ore Field, Magadan Region, *Ores and Metals*. 3, 61–70 [In Russian].

Savva, N. E., Parfyonov, M. I., Komina, V. I., 2003. Genetic Character of Gold Fineness Bimodal Distribution in Heavy Concentrations from the Platzdarm Creek Placer (Southern Spurs of the Myakit Intrusive), *Geodynamics, Magmatism, and Mineralogeny of the Northern Pacific Continental Margins, Materials of All-Russia Meeting Dedicated to the 90th Anniversary of Academician N. A. Shilo*, Magadan, June 3–6, 2003. Magadan, NEISRI FEB RAS. 3, 132–135 [In Russian].

Shilina, L. A., Sotskaya, O. T., 2018. Structure Features and Formation Conditions of Gold Placers at the Nizhny-Myakit Ore-Placer Knot (North-East of Russia), *Bulletin of the North-East Science Center*. 4, 49–62 [In Russian].

Sidorov, A. A., 2000. Gold-Porphyry Deposits in the North-East of Russia, *Gold Mineralization and Granitoid Magmatism of North Pacific. Vol. 2. Ore Mineralization and Petrogenesis, Proceedings of the All-Russia Meeting. Magadan, September 4–6, 1997*. Magadan, NEISRI FEB RAS. 106–109 [In Russian].

Struzhkov, S. F., Konstantinov, M. M., 2005. *Metallogeny of Gold and Silver in the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt*. Moscow, Scientific World [In Russian].

Thompson, J. F. H., Sillitoe, R. H., Baker, T., Lang, J. R., Mortensen, J. K., 1999. Intrusion-Related Gold Deposits Associated with Tungsten-Tin Provinces, *Mineralium Deposita*. 34, 323–334.

Thompson, J. F. H. & Newberry, R. J., 2000. Gold Deposits Related to Reduced Granitic Intrusions, *Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology*. 13, 377–400.

Vogelman, N. A., Konstantinov, M. M., Kurbanov, N. K., 1995. Principles of Gold Deposit Systematics for Prospecting and Exploration, *Otechestvennaya Geologiya*. 3, 31–41 [In Russian].

Zimenko, M. I., Karelin, Yu. P., Zimenko, E. A., Zhigulina, A. S., Voropaev, V. S., 2018. State Geological Map of the Russian Federation, Scale 1: 200 000, Sugoy Series, Sheet P-56-XXI (Myakit), Explanatory Letter. St. Petersburg, VSEGEI [In Russian].