

УДК 553.072

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-6-102-108

ДУКАТСКОЕ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ ЖИЛЬНЫХ ТЕЛ

Георгий Георгиевич Мальцев¹, Александр Сергеевич Якубчук^{2✉}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; georgiy_maltsev_jr@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; slaurum@aol.com✉

Аннотация. Для положения жил четырех генераций золото-серебряного месторождения Дукат выявлена контролирующая их цветковая структура растяжения, которая также контролирует и весь Балыгычано-Сугойский прогиб в тылу Охотско-Чукотского вулканического пояса. Разломы I порядка, контролирующие прогиб, имеют субмеридиональное до северо-восточного простирание и находятся примерно в 10–15 км от картируемого линейного ареала меловых вулканогенных образований, заполняющих прогиб и хорошо выраженных в гравитационных полях. В пределах месторождения присутствуют многочисленные разломы II порядка восток-северо-восточного простирания, образующие паркето-образную структуру с шагом через 200–600 м. Только в одном случае на месторождении Дукат вдоль такого разлома располагается рудное жильное тело Зона I. Остальные 120 рудных жил и зон в целом заполняют субмеридиональные разломы отрыва III порядка в цветковой структуре растяжения. Кварцевые жилы первой генерации распределены локально. Жилы второй, третьей и четвертой генераций распределены зонально. Кварц-адуляр-хлоритовые жилы второй генерации распространены почти исключительно к юго-востоку от рудного тела Зона I, тогда как кварц-родонитовые жилы третьей генерации располагаются и к юго-востоку, и к северо-западу от него, а кварц-сульфидные жилы — только к северо-западу. Между жилами первой-второй и третьей-четвертой генераций предшественниками установлен временной перерыв длительностью примерно 20 млн лет, что отражает структурные перестройки (несогласия) в прогибе по мере формирования месторождения при развитии вмещающего дуплекса растяжения.

Ключевые слова: Дукатское Ag-Au эптермальное месторождение, Балыгычано-Сугойский прогиб, Охотско-Чукотский вулканический пояс, цветковые структуры, дуплекс растяжения

Для цитирования: Мальцев Г.Г., Якубчук А.С. Дукатское золото-серебряное месторождение: структурный контроль жильных тел // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 6. С. 102–108.

THE DUKAT GOLD-SILVER DEPOSIT: STRUCTURAL CONTROL OF VEINS

Georgiy G. Maltsev¹, Alexander S. Yakubchuk^{2✉}

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; georgiy_maltsev_jr@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; slaurum@aol.com✉

Abstract. Four generations of veins at the Dukat gold-silver deposit are controlled by extensional flower structure, which also controls the entire Balygychan-Sugoi volcanic graben in the rear of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt. The Order I faults, controlling the basin, occur some 10–15 km from the mapped Cretaceous volcanic rocks of the basin, which is well expressed on gravity map. The deposit area has numerous ENE-trending Order II faults, forming a parquetry-like structure every 200 to 600 m. Only orebody of Zone I occurs along such faults. The other 120 ore veins and zones fill in the Order III faults of the extensional flower structure. Quartz veins of first generation occur locally. Veins of second, third and fourth generations reveal zoning. Quartz-adularia-chlorite veins of the second generation occur almost exclusively to the southeast of Zone I, whereas quartz-rhodonite veins of third generation are both to the southeast and northwest from Zone I. Quartz-sulfide veins of fourth generation are known only to the northwest of Zone I. Previous works showed that veins of third and fourth generations formed after a 20-million-year hiatus after the veins of first and second generations. This time gap corresponds to structural reorganization and unconformity within the volcanic basin that reflects the evolution of the hosting extensional duplex.

Keywords: Dukat Ag-Au epithermal deposit, Balygychan-Sugoi volcanic graben, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, flower structures, extensional duplex

For citation: Maltsev G.G., Yakubchuk A.S. The Dukat gold-silver deposit: structural control of veins. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 6: 102–108. (In Russ.).

Введение. Дукат является третьим крупнейшим месторождением серебра в мире и первоначально содержал около 17 000 т металла или ~60 % запасов России. Административно месторождение расположено в центральной части Омсукчанского района Магаданской области.

Тектонически, Дукатское рудное поле приурочено к Балыгычано-Сугойскому прогибу (рис. 1) в тыловой части Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП). На территории прогиба расположены серебряные, олово-серебряные и олово-серебро-полиметаллические месторождения Дукат, Лунный,

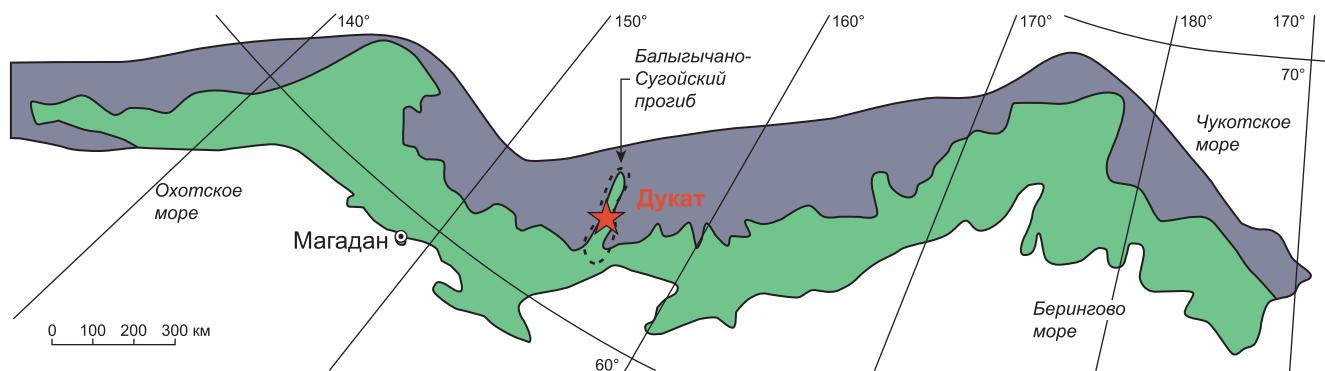


Рис. 1. Положение Балыгычано-Сугойского прогиба и месторождения Дукат в Охотско-Чукотском вулканическом поясе [Стружков, Константинов, 2005]

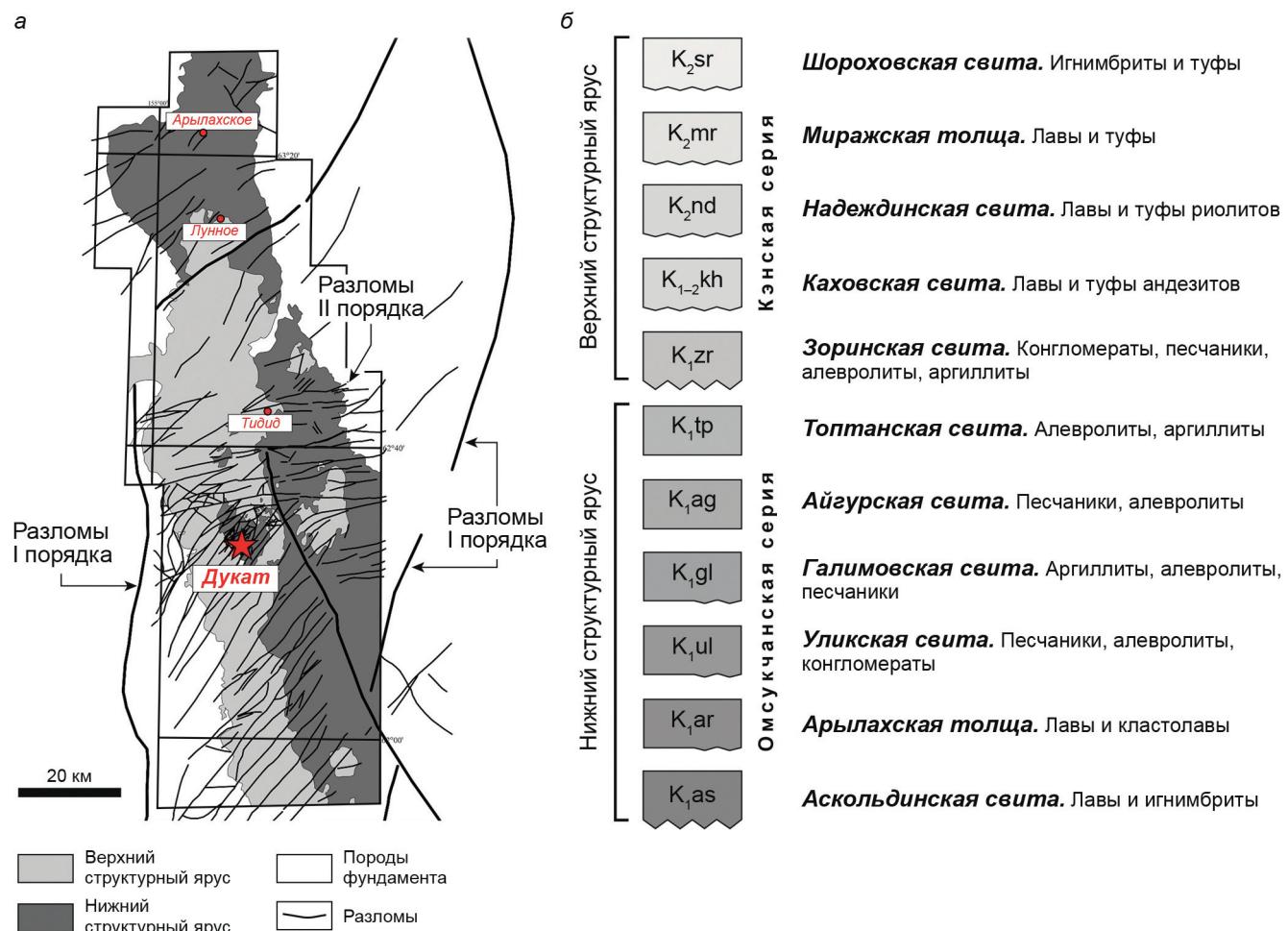


Рис. 2. Региональная тектоническая (а) и стратиграфическая (б) схемы Балыгычано-Сугойского прогиба с разделением на структурные ярусы. Разломная тектоника переинтерпретирована по данным [Государственная..., 2007; Яровой, 2013]

Арылах, Теплый, Зеленый, Аскольд, Красин, Иргучан, Малютка, а также Гольцовский, Мечта, Терем, Тидит [Савва, 2018]. По классификации Сидорова и др. [1989] месторождение относится к аргентитовому минеральному типу серебряной субформации. По международной классификации [John, et al., 2018] месторождение относится к эпимеральным.

Серебряная минерализация месторождения Дукат находится в кварцевых жильных телах четырех разновидностей и генераций: кварцевой, кварц-хлорит-адуляровой, кварц-родонитовой,

кварц-сульфидной [Кузнецов, 2022]. Предшественниками [Наталенко, 1992; Константинов и др., 1998; Стружков, Константинов, 2005; Савва, 2018], с нашей точки зрения, структура рудного поля и положение в ней рудных тел не были проработаны системно. В данной работе предпринята попытка комплексно проанализировать структурные аспекты месторождения Дукат и их соотношения с общей структурой Балыгычано-Сугойского прогиба.

Для структурного анализа нами были использованы геологические карты масштаба 1 : 200 000

(лист Р-56-XVIII) [Государственная..., 2007] и 1 : 100 000 [Яровой, 2013], а также доступные детальные геологические и спутниковые карты месторождения Дукат [Яровой, 2013]. Для выявления рангов выделенных разломных структур нами были использованы региональные геофизические карты. Все картографические материалы были совмещены в программе ArcGIS 11.

Геологическое строение Дукатского рудного поля. Дукатское золото-серебряное месторождение располагается в центральной части Балыгычано-Сугойского прогиба, сформировавшегося синхронно со структурами Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Прогиб вытянут в меридиональном направлении на 350 км при ширине 15–20 км в северной и до 60 км в южной части примерно под углом 60° к генеральному северо-восточному простирианию Охотско-Чукотского пояса (рис. 1) в этом сегменте. Прогиб сложен осадочно-вулканогенными и вулканогенными породами мелового возраста, которые несогласно залегают на деформированных триасово-юрских отложениях верхоянского комплекса.

В составе меловых отложений, выполняющих прогиб, выделено два структурных яруса (рис. 2). Нижний ярус залегает несогласно непосредственно на смятых в складки пермско-среднеюрских породах верхоянского комплекса [Государственная..., 2007, 2008]. Ярус сложен толщами игнимбритов и липаритов аскольдинской свиты и связанными с ними субвулканическими образованиями, а также континентальными угленосными отложениями уликской, галимовской, айгурской и топтанская свит (рис. 2, б). Возрастной диапазон формирования нижнего структурного яруса соответствует отложениям от аптского до альбского века.

На отложениях нижнего структурного яруса с резким угловым несогласием залегают вулканогенные образования (андезиты и их лавокласты, пирокласты и туфы) зоринской и каходской свит верхнего яруса (см. рис. 2, б). Полоса распространения этих пород смешена к западному флангу прогиба так, что породы верхнего яруса своим западным краем тоже залегают на деформированных породах верхоянского комплекса (рис. 2, а). При этом выступы фундамента фиксируются внутри прогиба в эрозионном окне в районе самого месторождения Дукат [Соловьев, 2006]. Со стратифицированными толщами этого яруса связаны субвулканические образования, вблизи которых в эрозионном окне и развиты рудные жилы месторождения Дукат.

Верхний структурный ярус также сложен вулканогенными и осадочно-вулканогенными отложениями (надеждинская, миражская и шороховская свиты), представленными лавами и туфами риолитов, лавами, кластолавами, туфами андезибазальтов и игнимбритами, кластолавами и туфами риодацитами, соответственно. Возрастной диапазон верхнего структурного яруса отвечает меловым отложениям от альбского до кампантского веков. Таким образом,

угловое несогласие в основании верхнего яруса сформировалось примерно 110 млн лет назад.

В районе месторождения также распространены субширотные рои пост-рудных палеогеновых даек базальтового состава [Кузнецов, 2022]. Они пересекают все разрывные нарушения прогиба и сами нигде не нарушены.

Дукатское золото-серебряное месторождение.

Месторождение Дукат состоит из жильных тел четырех генераций, отличающихся по составу (рис. 3): кварцевой, кварц-хлорит-адуляровой, кварц-родонитовой, кварц-сульфидной. Всего на месторождении выявлено 87 обособленных рудных жил и 34 рудные зоны. Все они располагаются в породах нижнего структурного яруса, которые обнажаются в эрозионном окне из-под верхнего структурного яруса. В этом же окне присутствуют породы фундамента. Все жильные тела располагаются на восточной периферии субвулканических тел порфировых липаритов, обнажающихся непосредственно к западу от Дукатского месторождения (рис. 3).

Главную промышленную ценность представляют жилы кварц-хлорит-адулярового и кварц-родонитового состава, несущие серебряную минерализацию с золотом, в меньшей мере — жилы кварц-сульфидного состава [Кузнецов, 2022]. Имеющиеся геохронологические данные указывают на формирование жил Дукатского месторождения в два коротких временных этапа в интервале 112–110 и 90–86 млн лет [Котляр и др., 2001], разделенных перерывом в ~20 млн лет. Кварцевые и кварц-хлорит-адуляровые, а также кварц-адуляровые жильные тела образовались в интервале 110–112 млн лет [Котляр и др., 2001], что соответствует раннему альбу и, таким образом, они близко синхронны с формированием несогласия в основании верхнего структурного яруса. Жилы кварцевого состава имеют преобладающее северо-западное простижение. Жилы кварц-хлорит-адулярового состава имеют субмеридиональное простижение, а также формируют рудное тело Зона I, которое залечивает разлом северо-восточного простириания, смещающий породы обоих ярусов прогиба и делящий месторождение на юго-восточный и северо-западный домены. Для этих жил характерен наиболее изменчивый состав, что отражает их полистадийное образование с наложением одних минеральных ассоциаций на другие, но с отложением в единых трещинах почти исключительно к юго-востоку от рудного тела Зона I.

Кварц-родонитовые и кварц-сульфидные жильные тела образовались в интервале 90–86 млн лет [Котляр и др., 2001], что соответствует коньякскому веку и, таким образом, они полностью синхронны вещественным комплексам верхнего структурного яруса. Жилы кварц-родонитового состава имеют преобладающее северо-западное простижение, располагаясь по обе стороны от рудного тела Зона I.

Жилы кварц-сульфидного состава распространены почти исключительно к северо-западу от

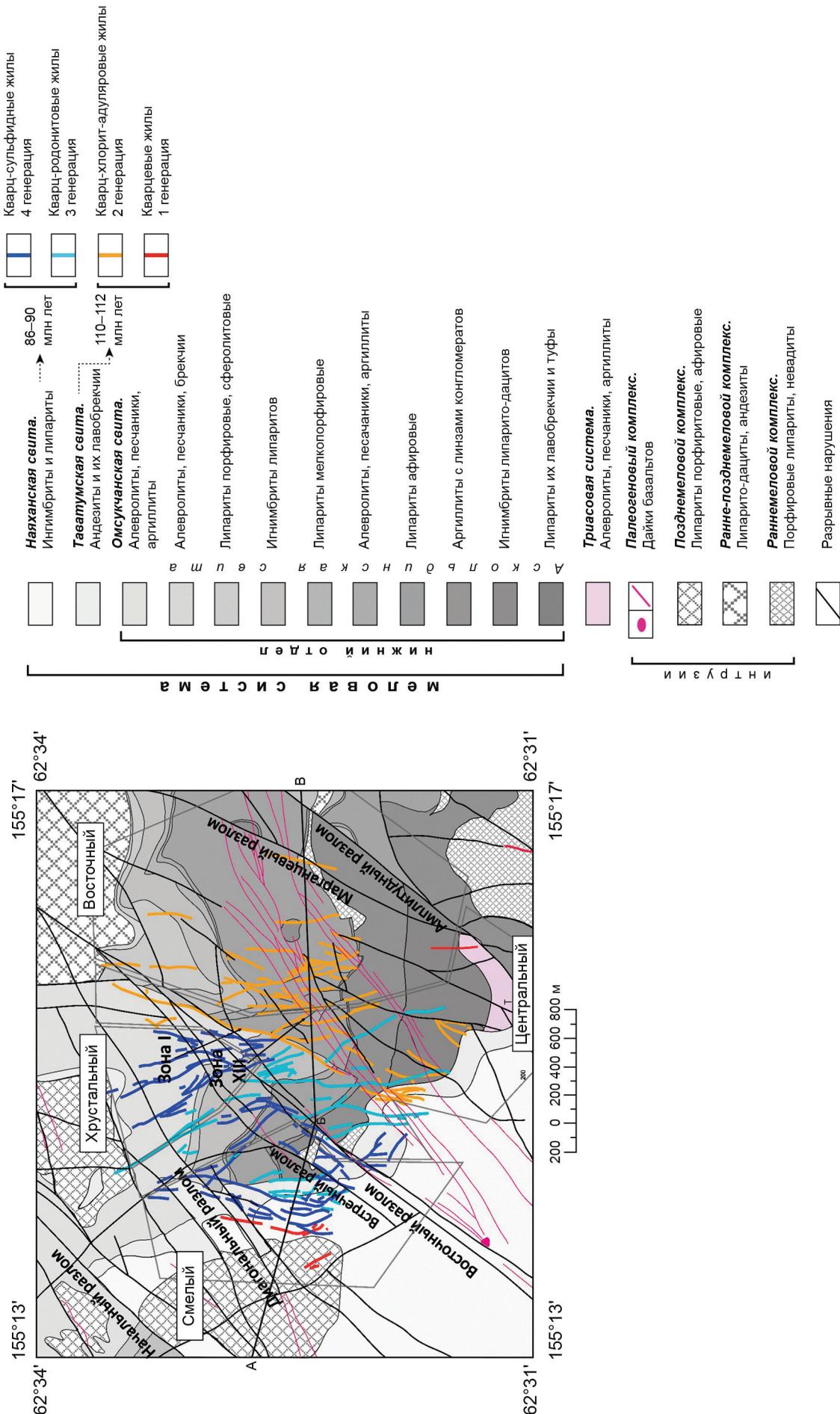


Рис. 3. Геологическая карта Дукатского месторождения. Изменено по [Солопов, 2006]. Линия А-Б—положение разреза, показанного на рис. 5

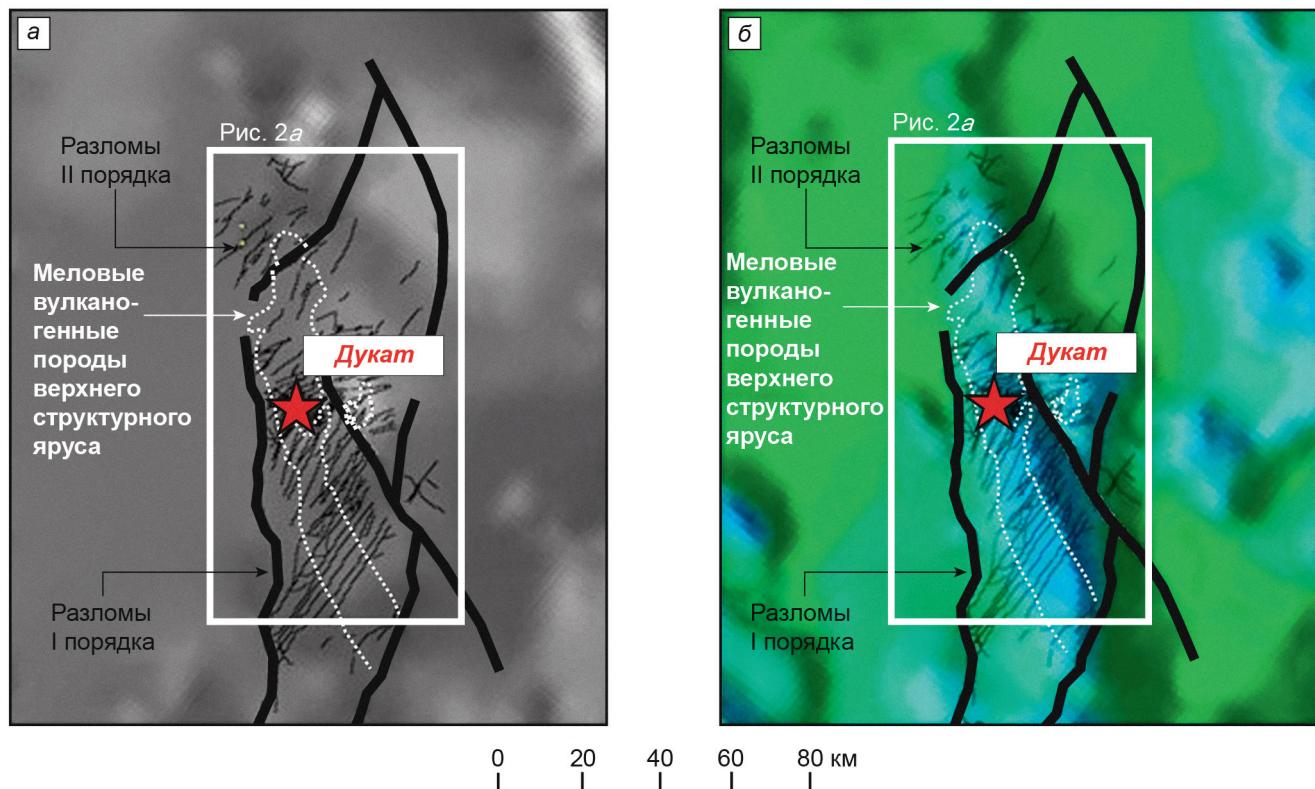


Рис. 4. Региональные карты магнитного (а) и гравитационного (б) полей района Балыгычано-Сугойского прогиба с разломами первого (черное жирное) и второго (черное тонкое) порядков

рудного тела Зона I при меняющемся, но в целом субмеридианальном простирании жильных роев. Для них характерен наиболее изменчивый состав и полистадийное образование с наложением минеральных ассоциаций друг на друга, но тоже с отложением в единых трещинах. Стоит отметить, что большинство жил участка Смелый не выходят на поверхность и скрыто под породами верхнего структурного яруса [Наталенко, 1992].

Структурный анализ положения рудных тел месторождения Дукат и обрамления. При региональном структурном анализе нами выявлено три системы разломов (рис. 2; 4).

К разрывным нарушениям I порядка отнесены два крупных субмеридиональных, но меняющих свое простирание разлома в 10–15 км к западу и к востоку от Балыгычано-Сугойского прогиба, соответственно. На геологических картах они прослеживаются на 200–300 км в субмеридиональном направлении [Государственная..., 2008], часто совпадая с хорошо проработанными речными долинами. В региональном магнитном поле (рис. 4, а) эти разломы четко не проявлены. Однако в региональном гравитационном поле (рис. 4, б) они проявлены достаточно четко за исключением северо-востока, но области пониженного гравитационного поля в целом четко маркируют область распространения магматических пород среднего-кислого состава, относимых к верхнему структурному ярусу.

К разломам II порядка нами отнесены многочисленные закартированные разломы северо-вост

точного простирания в южной части прогиба и субширотного — в центральной (рис. 2). Они имеют «косое» простирание по отношению к разломам I порядка и пересекают прогиб на всю его ширину. Не выходя за пределы разломов I порядка, они прослеживаются и в триасово-юрском фундаменте за пределами Балыгычано-Сугойского прогиба. По простиранию их длина достигает 15 км. Возраст заложения разломов широко определяют как «до-эффузивный» [Яровой, 2013]. Однако они смещают породы и нижнего, и верхнего структурных ярусов, а часть рудных жил второй генерации их залечивает, что указывает на близсинхронное формирование с жилами. Палеогеновые дайки пересекают эти разломы и не смещаются ими.

Месторождение Дукат расположено вблизи участка смены простираний разрывных нарушений II порядка с северо-восточных на субширотные. На месторождении это — разломы Восточный и Амплитудный (рис. 3), а также Диагональный и Начальный. Разломы с крутым падением на северо-запад представляют собой сбросо-сдвиги с амплитудами смещения до 300 м. Подобные разрывные нарушения являются самыми масштабными на территории Дукатского рудного поля. Эти разломы рассекают жилы всех генераций.

Минерализованные жилы и жильные зоны меридионального и северо-западного простирания всех генераций можно считать разломами отрыва III порядка, соответствующими локальным структурам растяжения внутри Центрального блока (рис. 3), огра-

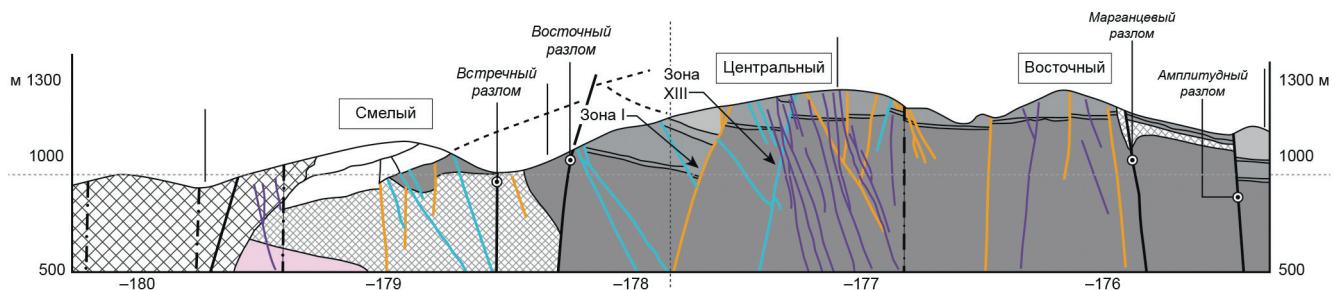


Рис. 5. Жилы разных генераций в разрезе Дукатского месторождения (легенда и положение разреза см. на рис. 3; базовый разрез по [Наталенко, 1992; Солопов, 2006]

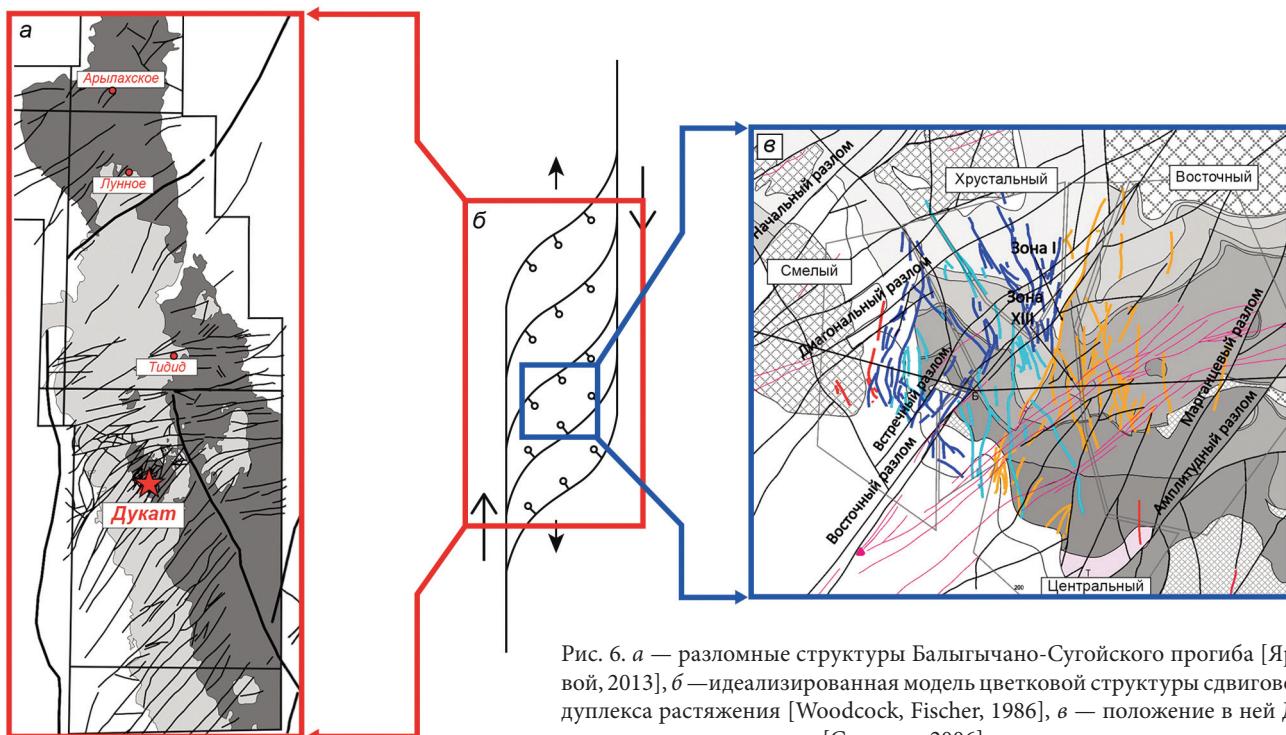


Рис. 6. а — разломные структуры Балыгычан-Сугойского прогиба [Яровой, 2013], б — идеализированная модель цветковой структуры сдвигового дуплекса растяжения [Woodcock, Fischer, 1986], в — положение в ней Дукатского месторождения [Солопов, 2006]

ниченного Амплитудным и Восточным разрывными нарушениями II порядка, с которыми они кинематически сопряжены. Жилы Дукатского месторождения также располагаются между Начальным и Амплитудным разломами (рис. 3). Разломы III порядка отличаются друг от друга морфологией, пространственными параметрами, временем заложения и генезисом, но в целом они тоже заполняют трещины отрыва.

Некоторые жильные зоны располагаются вдоль разломов II порядка (Зона I) или коленообразно изгибаются вдоль них (Зона XIII), а некоторые смещаются ими. Смещения жильных кластеров в плане (коленообразный изгиб Зоны XIII на востоке) по Восточному разлому указывают на его сбросовую кинематику (рис. 3) и синхронность в образовании разломов и жил.

К юго-востоку от Зоны I преобладают рудные жилы кварц-хлорит-адулярового состава, а к северо-западу — кварц-родонитового состава, хотя и те, и другие присутствуют по обе стороны от нее. Такая зональность соответствует двум возрастным датировкам образования жил, отражая этапность

в их формировании. Рудное выполнение разломов III порядка и заполняющих их рудных жил в юго-восточном домене месторождения соответствует ранней кварц-хлорит-адуляровой генерации, а кварц-родонитовые жилы третьей продуктивной минерализации, коленообразно изогнутое вдоль них, располагаются и в юго-восточном, и в северо-западном доменах, но не теряют своей сплошности [Солопов, 2006].

В разрезе жильные тела кварц-адулярового состава (например, Зона I) четко располагаются вдоль сбросов. Однако кварц-родонитовые жилы имеют другие азимуты простирации и на приведенном разрезе показаны между сбросами (рис. 5), что соответствует вышеуказанным временным различиям в образовании тех и других.

По нашему мнению, выявленный структурный рисунок и всего Балыгычан-Сугойского прогиба, и месторождения Дукат (рис. 6) лучше всего соответствует «цветковым структурам» (flower structures). В зависимости от кинематики сдвиговых деформаций среди них различают положительные (дуплексы

со сжатием) и отрицательные (дуплексы с растяжением) формы [Woodcock, Fischer, 1986]. Цветковые модели подразумевают наличие разноранговых (разнопорядковых) разрывных нарушений, которым в случае Дукатского рудного района соответствуют вышеперечисленные разломы трех порядков.

Заключение. Все типы рудных тел месторождения Дукат подчинены разломам II и III порядков в цветковой структуре растяжения, контролируемой разломами I порядка, вдоль которых вытянут и весь Балыгычано-Сугойский прогиб.

Обособленные рудные жилы и рудные зоны Дукатского месторождения наложены друг на друга в процессе многостадийного (четыре стадии) рудообразования, контролировавшегося развитием цветковой структуры.

В пределах месторождения многочисленные разломы II порядка восток-северо-восточного простирания разбивают вулканические породы прогиба через 200–600 м на паркето-образную структуру, ориентированную в северо-восточном направлении косо к меридиональному простиранию разломов I порядка. Вдоль такого разлома II порядка располагается рудное жильное тело Зона I. Остальные 120 рудных жил и зон расположаются в целом субмери-

дионально, заполняя разломы отрыва III порядка в цветковой структуре растяжения.

Жилы второй, третьей и четвертой генераций распределены зонально. Кварц-адуляр-хлоритовые жилы второй генерации распространены почти исключительно к юго-востоку от рудного тела Зона I, тогда как кварц-родонитовые жилы третьей генерации располагаются и к юго-востоку, и к северо-западу от него, а кварц-сульфидные жилы — только к северо-западу.

Между жилами первой-второй и третьей-четвертой генераций предшественниками продатирован временной перерыв в 20 млн лет, что коррелирует с зональным распространением жил разных генераций и отражает структурные перестройки по мере формирования вмещающих вулканических толщ и рудных жил месторождения при развитии дуплекса растяжения.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность Наталье Евгеньевне Савве, Надежде Наумовне Кривицкой и Людмиле Николаевне Шишаковой за консультации и предоставление каменного материала и ключевой литературы. Авторы благодарны компании Полиметалл за возможность работы на месторождении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Сугойская. Лист Р-56-XVIII (Омсукчан). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, МПР России, Комитет природных ресурсов по Магаданской области, Дукатская горно-геологическая компания, 2007. 315 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-56. Сеймчан. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 426 с. + 16 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ОАО «Магадангеология»)

Волков В.А., Молозина В.М., Иванов В.М. Подсчет запасов золота и серебра Дукатского месторождения на 01.01.2006. Т. 1: Подсчет запасов. [б.м.], [б.г.]

Константинов М.М., Наталенко В.Е., Калинин А.И., Стружков С.Ф. Золото-серебряное месторождение Дукат. М.: Недра, 1998. 203 с.

Котляр И.Н., Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Гагиева А.М. Изотопные системы магматических и метаморфических комплексов Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 319 с.

Кузнецов А.С. Проект на проведение разведочных работ в пределах участка Дальний Дукатского рудного поля. [б.м.], 2022.

Наталенко В.Е. Золото-серебряная формация. Месторождение Дукат // Атлас «Многофакторные прогнозы

но-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России». М.: ЦНИГРИ, 1992. С. 33–38.

Савва Н.Е. Минералогические особенности золотого и серебряного оруденения в Омсукчанском районе (Северо-Восток СССР): Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. М., 1980. 20 с.

Савва Н.Е. Минералогия серебра Северо-Востока России // Тр. СВКНИИ ДВО РАН. Вып. 78. М.: Триумф, 2018. 544 с.

Сидоров А.А., Константинов М.М., Еремин Р.А. и др. Серебро (геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений). М.: Наука, 1989. 240 с.

Соловьев Ю.А. Схематическая геологическая карта Дукатского рудного поля масштаба 1:10 000. [б.м.], 2006.

Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 320 с.

Яровой В.А. Отчет о геологоразведочных работах на Дукатской перспективной площади в 2007–2013 гг.: В 2-х кн. Магадан, 2013.

John D.A., Vikre P.G., du Bray E.A., et al. Descriptive models for epithermal gold-silver deposits: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-Q, 2018, 247 p. Chapter C. Deposit Type and Associated Commodities (13 p.)

Woodcock N.H., Fischer M. Strike-slip duplexes // Journal of Structural Geology. Vol. 8, Iss. 7. 1986. P. 725–735.

Статья поступила в редакцию 18.02.2025, одобрена после рецензирования 12.11.2025, принята к публикации 26.12.2025