

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.41 : 553.07 : 550.93 (571.61/62)

Геологические и изотопные реперы возраста месторождений Соловьёвского золоторудного центра Приамурской провинции

Степанов В. А.¹, Мельников А. В.²¹ Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия² Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск, Россия

Аннотация. Приведены сведения о геологическом и изотопном возрасте золоторудных месторождений Соловьёвского центра Приамурской провинции, отнесённых к золотополиметаллической, золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формациям. Показано, что возраст наиболее продуктивных месторождений золотополиметаллической (Березитовое) и золото-сульфидно-кварцевой (Кировское) формаций по геологическим данным является раннемеловым, а по изотопным определениям – барремским в интервале 131–125 млн лет. Геологический возраст малопродуктивных месторождений золото-кварцевой формации трудно определить ввиду того, что вмещающие породы чаще всего представлены гнейсами и кристаллосланцами докембрийского возраста. Изотопный возраст формирования золото-кварцевых месторождений Снежинка и Золотая Гора колеблется, соответственно, в пределах от поздне триасового (212 млн лет) до позднеюрского (155 млн лет).

Ключевые слова: золоторудный центр, месторождение, изотопный возраст.

Для цитирования: Степанов В. А., Мельников А. В. Геологические и изотопные реперы возраста месторождений Соловьёвского золоторудного центра Приамурской провинции. Руды и металлы. 2024. № 1. С. 62–77. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10004.

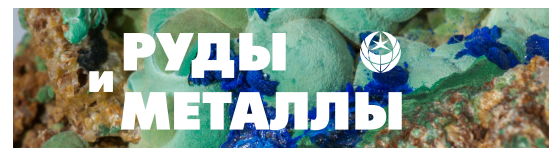
Geological and isotopic reference points of the age of gold deposits of the Solovyovsky gold ore center in the Amur province

Stepanov V. A.¹, Melnikov A. V.²¹ Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia² Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, Russia

Annotation. The data are presented on the geological and isotopic age of gold deposits of the Solovyovsky gold ore center in the Amur province, assigned to the gold-polymetallic, gold-sulfide-quartz, and gold-quartz formation types. It is demonstrated that the geological and isotopic age of the most productive ore deposits of the gold-polymetallic (Berezitovoe) and gold-sulfide-quartz (Kirovskoe) types is Early Cretaceous according to geological data and Barremian (in the range of 131–125 million years) according to isotopic determinations. The geological age of poorly productive ore deposits of the gold-quartz type is difficult to determine due to the fact that the host rocks are most often represented by gneisses and crystal shales of Precambrian age. The isotopic age of formation of the Snezhninka and Zolotaya gora gold-quartz deposits is, respectively, Late Triassic (212 million years) and Late Jurassic (155 million years).

Keywords: gold ore center; ore deposit; isotopic age; gold-polymetallic, gold-sulfide-quartz, and gold-quartz formation types.

For citation: Stepanov V. A., Melnikov A. V. Geological and isotopic reference points of the age of gold deposits of the Solovyovsky gold ore center in the Amur province. Ores and metals. 2024. № 1. С. 62–77. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10004.



Введение. На территории Дальнего Востока известны золоторудные провинции палеозойского (Омолонская), мезозойского и кайнозойского (Восточно-Забайкальская, Верхоянская, Колымо-Чукотская, Охотско-Чукотская, Приамурская и Камчатская) возраста [7]. Здесь наиболее древним является месторождение Кубака, изотопный возраст которого 335–330 млн лет [18], а у наиболее молодых месторождений, расположенных в Камчатской провинции, изотопный возраст от 41,4 до 0,7 млн лет [13]. Для Приамурской провинции характерны позднемезозойский возраст формирования золотого оруденения и тенденция его омоложения с запада на восток [17]. В этом же направлении в провинции протягивается цепочка из трёх исторически сложившихся золоторудных центров, из месторождений которых добыты наибольшие объёмы золота, – Соловьёвского, Гонжинского и Токурского [19]. Эти центры соответствуют определению для минерально-сырьевых или промышленно-сырьевых узлов [1]. В статье подробно рассмотрены основные геологические и изотопные реперы возраста формирования золотого оруденения Соловьёвского центра, в котором в конце XIX века впервые началась добыча рудного золота Приамурья.

Геологическое строение. Соловьёвский золоторудный центр располагается на западном фланге Приамурской провинции на сочленении Алдано-Станового, Монголо-Охотского и Амурского геоблоков, разделённых Северо-Тукурингским и Южно-Тукурингским региональными разломами. В ансамбль разрывных нарушений входит также Желтулакский внутриблоковый разлом, оперяющий Северо-Тукурингский. Он делит Алдано-Становую блок на две части – западную Селенгино-Становую и восточную Джугджуро-Становую (рис. 1).

Северо-Тукурингский разлом разделяет Алдано-Становую и Монголо-Охотский геоблоки и представляет собой пологий надвиг или сбросо-надвиг, наклонённый к северу. Он относится к «надмантийным» разломам, проявляющимся смещениями на границе Мохоровичича. Вертикальные амплитуды смещения поверхности Мохоровичича, которая зале-

гает на глубине 38–42 км, составляют 1–6 км. В отличие от него Южно-Тукурингский разлом является «надбазитовым», проявляющимся смещениями по поверхности протобазальтового слоя [14]. Желтулакский разлом сдвигового, сбросо-сдвигового и надвигового типов – коровый, но имел связь с мантией на разных этапах своего развития [5]. Эти три разлома, по-видимому, играли роль рудоподводящих и рудоконтролирующих структур.

Алдано-Становый геоблок занимает северную, основную, часть центра. Он развивался по кратонному типу и представляет собой фрагмент фундамента Сибирской платформы. Южная часть геоблока в рифее–раннем палеозое испытала регенерацию. В позднем палеозое и мезозое в его пределах проявилась многократная активизация. Переработка в позднеархейское и раннепротерозойское время складчато-инъективных структур раннего архея обусловила плутоно-метаморфическую, складчатоблоковую природу его внутренней структуры [14].

Селенгино-Становая и Джугджуро-Становая части Алдано-Станового геоблока сложены гнейсами и кристаллосланцами преимущественно архейского возраста, прорванными гранитоидными интрузиями широкого возрастного диапазона – от архея и протерозоя до мезозоя. Они разделены Желтулакским разломом, который имеет древнее, раннедокембрийское заложение. В конце раннего протерозоя вдоль него в условиях растяжения образовались рифтогенные прогибы, выполненные осадочными и вулканогенно-осадочными породами желтулакской и удоканской серий.

Монголо-Охотский складчато-надвиговой геоблок протягивается узкой полосой субширотного простирания в южной части центра. Он сложен мощными комплексами кремнисто-вулканогенно-осадочных и терригенных образований, метаморфизованных в фации глаукофановых и зелёных сланцев. Возраст их трактуется от рифея до раннего палеозоя. Интрузивные образования представлены раннепермскими магматитами пиканского комплекса габбро-плагиогранитовой формации.

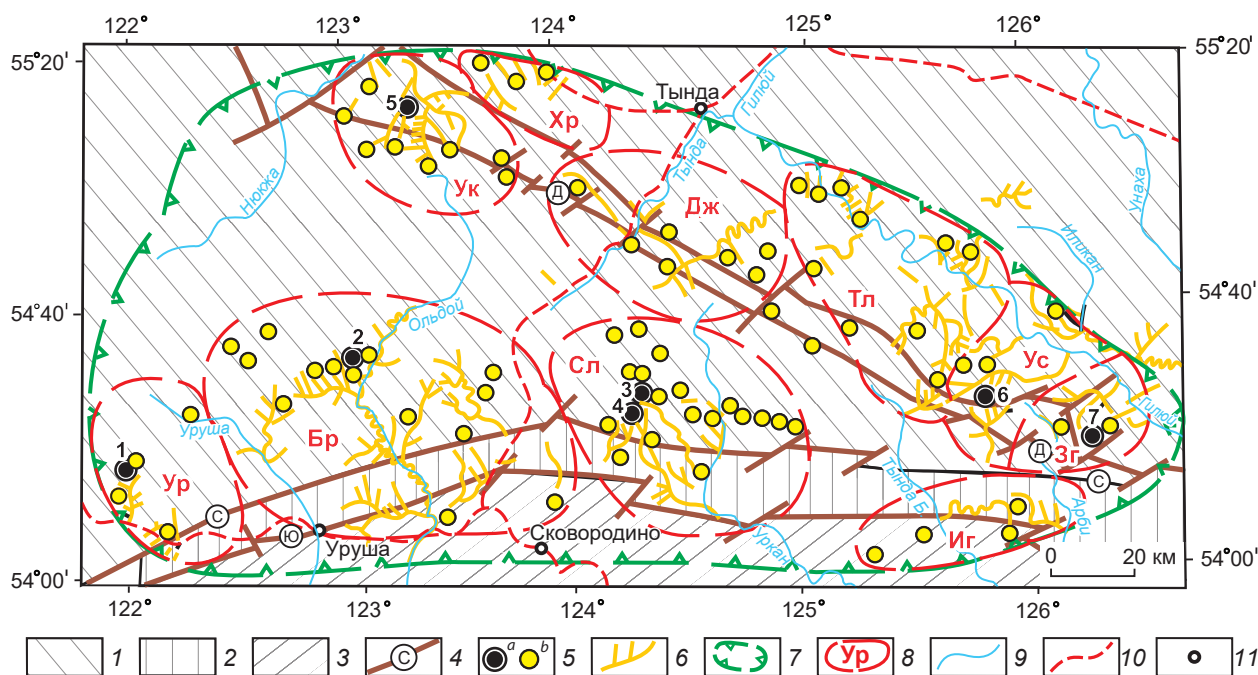


Рис. 1. Геологическая схема Соловьёвского золоторудного центра:

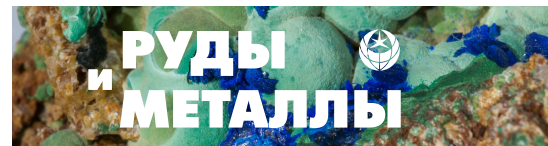
геоблоки: 1 – Алдано-Становой, 2 – Монголо-Охотский, 3 – Амурский; 4 – региональные разломы (Д – Джелтулакский, С – Северо-Тукурингский, Ю – Южно-Тукурингский); 5 – золоторудные месторождения (а) (1 – Снежинка, 2 – Березитовое, 3 – Кировское, 4 – Соловьёвское, 5 – Одолго, 6 – Успенское, 7 – Золотая Гора), проявления (b); 6 – россыпи золота; 7 – контур Соловьёвского золоторудного центра; 8 – границы рудно-россыпных узлов (Ур – Уркинский, Бр – Березитовый, Сл – Соловьёвский, Ук – Уркиминский, Хр – Хорогочинский, Дж – Джелтулакский, Тл – Талгинский, Ус – Успенковский, Зл – Золотогорский, Иг – Игакский); 9 – водотоки; 10 – железные дороги; 11 – населённые пункты

Fig. 1. Schematic geological map of the Solovyovskiy gold ore center:

geoblocks: 1 – Aldan-Stanovoi, 2 – Mongol-Okhotsk, 3 – Amur; 4 – regional faults (Д – Dzheldtulak, С – Northern Tukuringra, Ю – Southern Tukuringra); 5 – gold objects: (a) ore deposits (1 – Snezhinka, 2 – Berezitovoe, 3 – Kirovskoe, 4 – Solovyovskiy, 5 – Odolgo, 6 – Uspenovskoe, 7 – Zolotaya Gora) and (b) ore occurrences; 6 – gold placers; 7 – outlines of the Solovyevskiy gold ore center; 8 – boundaries of lode-placer gold clusters (Ur – Urkinsky, Br – Berezitovoy, Sl – Solovyevskiy, Uk – Urkiminsky, Xp – Khorogochinsky, Dz – Jeltulaksky, Tl – Talginsky, Us – Uspenovskiy, Zl – Zolotogorsky, Ig – Igaksky); 9 – watercourses; 10 – railways; 11 – settlements

Южный край Соловьёвского центра сложен породами Амурского геоблока. Амурский геоблок сформировался на некрайонизированной подвижной коре. Он обладает мозаично-складчато-блоковым строением с контрастно высокоамплитудными движениями составляющих его блоков и накоплением осадочных формаций значительной мощности. Фрагменты докембрийского кристаллического фундамента геоблока представлены позднеархейскими и раннепротерозойскими стратифици-

руемыми и интрузивными образованиями. К структурам деформированного чехла относятся рифейско-вендско-нижнекембрийские структурно-вещественные комплексы и палеозойские осадочные отложения. Окончательная консолидация геоблока наступила после интенсивной позднепалеозойской магматической активности, с которой связано становление гранитоидных плутонов [14]. Преобладают в пределах геоблока терригенно-карбонатные осадки раннего и среднего палеозоя, прорван-



ные интрузиями и дайками раннего мела. Вдоль Южно-Тукурингского разлома располагаются впадины с терригенными осадками юрского возраста.

Золотоносность. В пределах центра находятся рудно-россыпные узлы (РРУ) Янканской (Уркинский, Березитовый, Соловьёвский, Игакский) и большей части Джелтулакской (Уркиминский, Хорогочинский, Джелтулакский, Талгинский, Успеновский и Золотогорский) металлогенических зон Приамурской золотоносной провинции. В них известны семь золоторудных месторождений, десятки проявлений и сотни россыпей золота. Добыча рудного золота началась в 1890 г. на месторождении Джалинда (ныне Кировское) и продолжается в настоящее время на Березитовом и Соловьёвском месторождениях. Всего из золоторудных месторождений добыто около 53 т золота. Гораздо больше извлечено золота из россыпей, соотношение добычи россыпного золота к рудному равно 6 : 1, что свидетельствует о значительных перспективах центра на выявление новых золоторудных месторождений [21].

Шесть из семи золоторудных месторождений Соловьёвского центра эксплуатировались на золото. Одно из них отнесено к золото-полиметаллической (месторождение Березитовое), два к золото-сульфидно-кварцевой (Кировское и Соловьёвское) и четыре (Золотая Гора, Успеновское, Одолго и Снежинка) к золото-кварцевой формациям.

Геологический и изотопный возраст золоторудных месторождений. Имеющиеся сведения об изотопном возрасте месторождений отдельных формаций отражены в таблице.

Золотополиметаллическая формация. Наиболее значительная часть рудного золота Соловьёвского центра извлечена из *месторождения Березитовое* золотополиметаллической формации. Оно расположено в северной части Березитового РРУ, на левом борту низовьев р. Хайкта. Вмещающими породами служат порфировидные граниты и гнейсовидные гранодиориты Хайктинско-Орогжанского массива позднего палеозоя. Отмечаются внутрирудные дайки метапорфиров и пострудные –

диоритовых порфиров и спессартитов раннемелового возраста.

Рудное тело представляет собой крупную зону рудоносных метасоматически изменённых пород. Она объединяет два крутонаклонных воронкообразных тела – Центральное и Северное, сопряжённых вблизи поверхности, но выклинивающихся на глубине. Метасоматиты сложены агрегатом турмалин-гранат-ортоклаз-мусковит-кварцевого состава. Метасоматические породы брекчированы и сцементированы сульфидными минералами, среди которых преобладают галенит, сфалерит, пирит и пирротин. Среди второстепенных и редких минералов отмечаются халькопирит, арсенопирит, самородные золото и висмут, блёлые руды, теллуриды Au и Ag и др. Основными полезными компонентами руд являются золото, серебро, свинец и цинк [2]. Выявлены золотополиметаллический и золоторудный минеральные комплексы. К первому отнесена основная масса золотосодержащих полиметаллических руд с низким содержанием золота. Ко второму – спорадически развитые в полиметаллических рудах, во вмещающих гранодиоритах и дайках метапорфиров тонкие жилы и прожилки сульфидного, турмалинового, турмалин-кварцевого, кварц-сульфидного, кварц-гранатового и кварц-гранат-сульфидного состава с высоким содержанием золота. Золото свободное, от мелкого до крупного, проба его колеблется в широких пределах (666–999 ‰, средняя – 861 ‰).

Выделены два этапа рудообразования: ранний золотополиметаллический и поздний – золотой. Геологическим репером, разделяющим эти этапы, являются внутрирудные дайки метапорфиров. Они не содержат золотополиметаллическую минерализацию, но рассекаются золотоносными прожилками сульфидного и кварц-сульфидного состава. Завершают рудный процесс дайки диоритовых порфиров и спессартитов, которые пересекают минеральные образования обоих золотоносных комплексов и являются пострудными (рис. 2).

Нижней возрастной границей Березитового месторождения служит возраст вмещающих золотое оруденение гранитоидов Хайк-

Геологический и изотопный возраст месторождений, вмещающих пород и пострудных даек Соловьёвского золоторудного центра

Geological and isotopic age of the ore deposits, host rocks, and post-ore dikes of the Solovyovsky gold ore center

Место-рождение	Добыча золота, т	Вмещающие породы	Пострудные дайки	Изотопный возраст золотого оруденения		Источ-ник
				метод	млн лет	
Золотополиметаллическая формация						
Березитовое	34,3	Верхнепалеозойские гранодиориты и граниты	Нижнемеловые дайки диоритовых порфиритов и спессартитов	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	132 ± 2,9 ÷ 127,3 ± 4,4	[9]
Золото-сульфидно-кварцевая формация						
Кировское	9,7	Нижнемеловые граниты и гранодиориты	Нижнемеловые дайки диоритовых порфиритов	Rb/Sr	131–126	[11]
Соловьёвское	5,2	Терригенные породы долохитской толщи средней юры	Нижнемеловые дайки диоритовых порфиритов	-	-	[10]
Золото-кварцевая формация						
Золотая Гора	2,0	Нижнеархейские гнейсы и амфиболиты	Мезозойские дайки микродиоритов, фельзит-порфириров и сиенит-порфириров	Rb/Sr	155 ± 7	[16]
Успенское	1,0	Нижнеархейские гнейсы, кристаллические сланцы и амфиболиты	Пострудные дайки не отмечаются	-	-	[10]
Одолго	0,5	Нижнепротерозойские метапесчаники, слюдистые сланцы и биотитовые гнейсы	Дайки гранит-порфириров олёкмо-станового комплекса нижнего мела	-	-	[10]
Снежинка	-	Граниты и граносиениты верхнего триаса	Дайки гранит-порфириров, граносиенит-порфириров, диоритовых порфиритов и спессартитов верхнего триаса	Rb/Sr	212 ± 5	[20]

тинско-Орогжанского массива. Изотопный возраст их надёжно определен U-Pb методом по цирконам на приборах SHRIMP-II и LA-ICP-MS. Для порфировидных гранитов он составляет 344–355 млн лет, для гнейсовидных гранодиоритов – $379,0 \pm 1,1$ млн лет, что отвечает границе позднего девона и раннего карбона [3].

Изотопный возраст первого, золотополиметаллического, этапа рудообразования, определен $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в Институте геологии и минералогии СО РАН. Он составляет для гранат-кварц-мусковит-калишпатовых ме-

тасоматитов $129,7 \pm 3,2 \div 127,3 \pm 4,4$ млн лет, а для мусковит-кварцевых метасоматитов – $132 \pm 2,9 \div 131,3 \pm 2,3$ млн лет [9]. Приведённые определения близки по возрасту и соответствуют поздней части готеривского и ранней половине барремского ярусов раннемеловой эпохи. Внутрирудный этап внедрения даек метапорфириров оценён по результатам $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопно-геохронологических исследований, проведённых в Институте геологии и минералогии СО РАН, в $125,2 \pm 2,4$ и $125,2 \pm 3,4$ млн лет [15]. Этот возраст отвечает границе баррем-

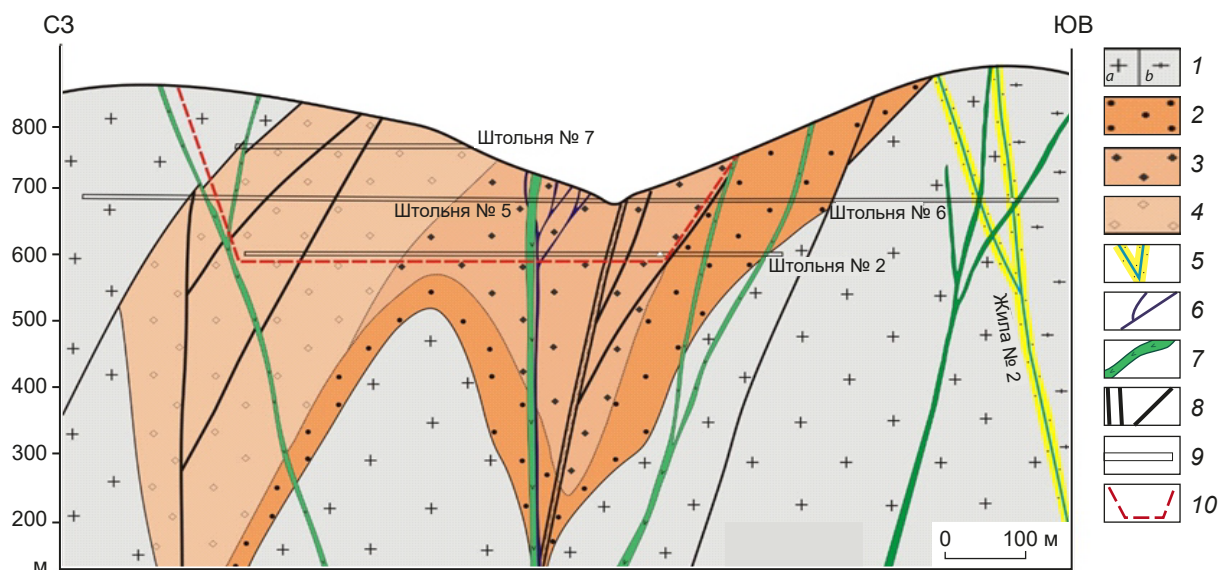
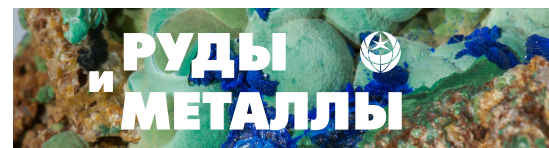


Рис. 2. Вертикальная проекция Березитового месторождения. Составлена по материалам ПГО «Дальгеология»:
 1 – позднепалеозойские порфировидные гранодиориты и граниты (а), гнейсовидные гранодиориты (b); метасоматиты: 2 – турмалин-гранат-ортоклаз-мусковит-кварцевые, 3 – турмалин-гранат-мусковит-кварцевые, 4 – турмалин-гранат-кварц-мусковитовые; 5 – кварцевые жилы; дайки: 6 – метапорфиров, 7 – диоритовых порфиров и спессартитов; 8 – разломы; 9 – разведочные горные выработки; 10 – контур эксплуатационного карьера

Fig. 2. Vertical projection of the Berezitovoe deposit. Compiled based on materials of PGO “Dalgeologia”:

1 – Late Paleozoic porphyritic granodiorites and granites (a), gneissic granodiorites (b); metasomatites: 2 – tourmaline-garnet-orthoclase-muscovite-quartz, 3 – tourmaline-garnet-muscovite-quartz, 4 – tourmaline-garnet-quartz-muscovite; 5 – quartz veins; dikes: 6 – metaporphyrites, 7 – diorite porphyrites and spessartites; 8 – faults; 9 – exploration workings; 10 – open pit mine outlines

ского и аптского ярусов раннего мела. Вероятно, изотопный возраст собственно золотого этапа формирования Березитового месторождения близок к 125 млн лет. Следовательно, изотопный возраст Березитового золотополиметаллического месторождения растянут во времени от 132 до, по крайней мере, 125 млн лет.

Изотопный возраст пострудных даек гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров и порфиров изучен менее точным К-Аг методом и составляет 105–100 млн лет (альбский ярус раннего мела) [8].

Изотопный возраст формирования золотополиметаллического и внутрирудного этапов Березитового месторождения оценивается Ar-Ar методом в пределах готеривского (его поздней части) и барремского ярусов раннемеловой эпохи. Изотопный возраст золоторудного этапа вряд ли будет установлен в связи с

тем, что месторождение в значительной мере отработано. Возраст его ограничен баррем-аптским возрастом внутрирудных даек и альбским пострудных. В целом раннемеловой возраст Березитового золоторудного месторождения в пределах готерив-аптского ярусов не вызывает сомнения.

Золото-сульфидно-кварцевая формация. Следующими по уровню добычи рудного золота являются месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации – Кировское (Джалиндинское) и Соловьёвское.

Кировское месторождение располагается в северо-западной части Соловьёвского РРУ, в верховьях р. Джалинда. Вмещающими породами служат граниты и гранодиориты юго-западной окраины Джалиндинской интрузии верхнеамурского раннемелового комплекса, а также гнейсы и кристаллосланцы архея в

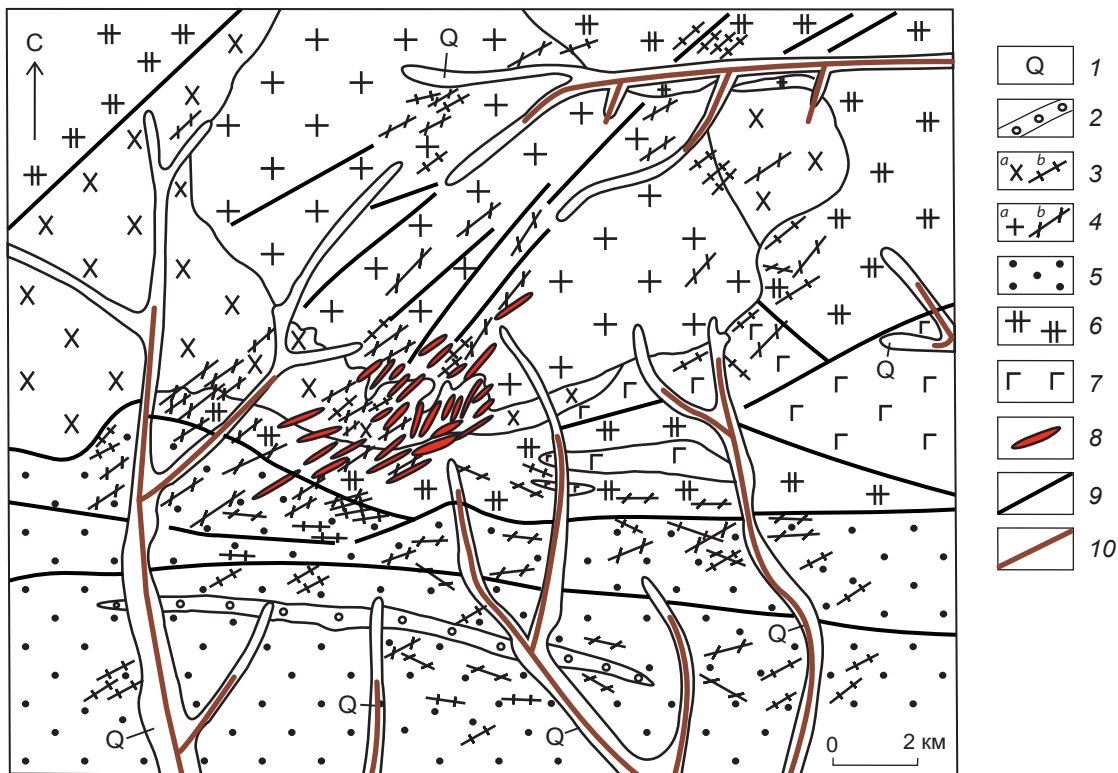


Рис. 3. Схематическая геологическая карта района Кировского месторождения по [4]:

1 – четвертичные отложения; 2 – меловые отложения стрелкинской свиты: песчаники, алевролиты, конгломераты, гравелиты с прослоями песчаников и углистых алевролитов; меловой комплекс: 3 – диориты, габбродиориты, диоритовые порфиры (а – интрузивы, b – дайки), 4 – гранодиориты, граниты (а – интрузивы, b – дайки); 5 – юрские отложения, долохитская свита: алевролиты, песчаники, туфопесчаники, конгломераты, гравелиты; 6 – раннепротерозойский позднестановой комплекс: субщелочные гнейсовидные граниты; 7 – раннеархейский комплекс: габброамфиболиты; 8 – рудные тела; 9 – разломы; 10 – россыпи золота

Fig. 3. Schematic geological map of the Kirovskoe gold deposit area, after [4]:

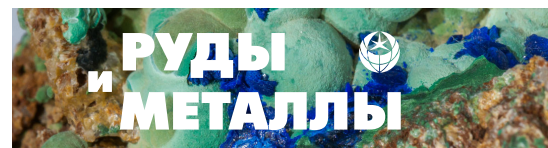
1 – Quaternary sediments; 2 – Cretaceous deposits of the Strelkinsky Formation: sandstones, siltstones, conglomerates, and gravelites with interlayers of sandstones and carbonaceous siltstones; Cretaceous Complex: 3 – diorites, gabbrodiorites, diorite porphyrites (a – intrusions, b – dikes), 4 – granodiorites, granites (a – intrusions, b – dikes); 5 – Jurassic deposits, Dolokhite Formation: siltstones, sandstones, tuffaceous sandstones, conglomerates, gravelites; 6 – Early Proterozoic Pozdnestanovoy Complex: subalkaline gneiss-like granites; 7 – Early Archean Complex: gabbroamphibolites; 8 – ore bodies; 9 – faults; 10 – gold placers

её экзоконтакте. В ряде работ указано на генетическую связь золотого оруденения с гранитоидами Джалиндинской интрузии [4, 6, 12].

Рудные тела представлены золотоносными кварцевыми и сульфидно-кварцевыми жилами и жильно-прожилковыми зонами, располагающимися в эндо- и экзоконтактах Джалиндинской гранитоидной интрузии. Рудоносной системой служит пучок синрудных даек диоритовых порфиритов и гранодиорит-пор-

фиров раннего мела и парагенетически связанных с ними золотоносных кварцевых и сульфидно-кварцевых жил субширотного и северо-восточного направления, совпадающих с простиранием главных разрывных нарушений (рис. 3).

Выделяется два типа рудных тел: золото-сульфидно-кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны субширотного простираения и малосульфидные золото-кварцевые жилы се-



веро-восточной ориентировки. Золото-сульфидно-кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны располагаются преимущественно в южной части месторождения. Они сложены кварцем, карбонатами, серицитом и сульфидами, количество которых нередко достигает 10–15 %. Среди них преобладают сфалерит, галенит и халькопирит. Золото мелкое и тонкое. Его проба 850–864 ‰. Околорудные изменения представлены березитизацией и аргиллизацией.

Во вторую группу входят золото-кварцевые жилы. Околорудные изменения представлены березитизацией. Из жильных минералов преобладает кварц, менее развиты карбонаты, полевой шпат и серицит. Среди рудных минералов, количество которых не превышает 3–5 %, преобладают пирит, арсенопирит, висмутин, халькопирит и золото. Реже встречаются сфалерит, галенит, блёклые руды, магнетит, буланжерит, молибденит, шеелит и самородный висмут. Золото свободное, крупных размеров, нередко встречаются самородки массой до 10–15 г. Проба его высокая – 924–953 ‰ [6].

Выявлена трёхстадийная последовательность формирования золотосодержащих минеральных ассоциаций. В первую стадию отлагались шеелит-сульфидно-кварцевые руды, среди которых выделены молибденит-шеелит-кварцевая и шеелит-халькопирит-кварцевая ассоциации. Во вторую стадию формировались сульфидно-кварцевые руды, представленные пирит-арсенопирит-кварцевой, халькопирит-карбонатно-кварцевой и золото-висмутин-кварцевой ассоциациями. В третью стадию образовались жилы и микропрожилки с Cu-Ni и Sb-Co минерализацией. Они представлены пентландит-халькопирит-кварцевой и арсенопирит-глаукоdot-кварцевой ассоциациями [10].

Нижней возрастной границей золотого оруденения служит раннемеловой возраст наиболее молодых вмещающих пород – гранодиоритов и гранитов Джалиндинской интрузии верхнеамурского комплекса. Возраст комплекса определяется по прорыванию им раннепозднеюрских терригенных отложений Верхнеамурского прогиба и позднеюрских субщелочных гранитов магадачинского комплекса.

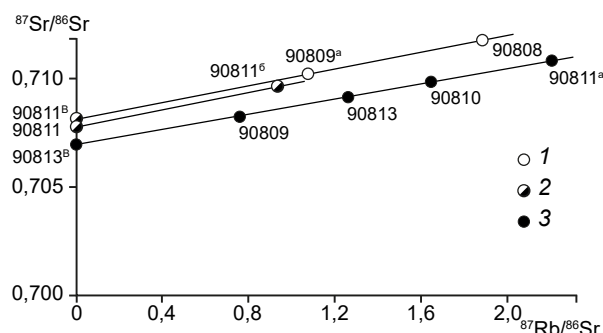


Рис. 4. Rb-Sr изохронные графики рудосопровождающих минералов Кировского месторождения по [11]: стадии минералообразования: 1 – ранняя, 2 – средняя, 3 – поздняя

Fig. 4. Rb-Sr isochron plots of ore-accompanying minerals of the Kirovskoe deposit, after [11]: mineral formation stages: 1 – early, 2 – middle, 3 – late

Верхняя возрастная граница определяется по прорыванию пород верхнеамурского комплекса интрузиями буриндинского [14]. Восточнее, в бассейне р. Елна, изотопный возраст массива диоритов буриндинского комплекса, установленный U-Pb методом по цирконам, составил $117,8 \pm 2,6$ млн лет, то есть в пределах аптского яруса раннего мела [14].

Изотопный возраст Джалиндинского массива вначале был определён K-Ar методом в интервале 110–140 млн лет [6]. Затем этот интервал был сужен до 117–135 млн лет. Дальнейшие U-Pb геохронологические исследования цирконов массива методом LA-ICP-MS установили его возраст в $125,55 \pm 0,68$ млн лет [4], что отвечает границе барремского и аптского ярусов раннемеловой эпохи.

Определение изотопного возраста золотого оруденения произведено Rb-Sr методом в лаборатории изотопной геологии ВСЕГЕИ [11]. Анализировались серицит и кальцит трёх рудных стадий минерализации жил – Немецкой и Толстой. Получены три изохроны с возрастом $126 \pm 8,8$, 128 и 131 млн лет (рис. 4). Таким образом, изотопный возраст золотого оруденения оценивается в 126–131 млн лет, что отвечает барремскому ярусу раннего мела.

Небольшая разница в изотопном возрасте между внедрением Джалиндинской интрузии и формированием в её эндо- и экзоконтактах

золоторудных кварцевых жил Кировского месторождения объясняется разными методами исследования, а также вероятной погрешностью определений.

Изотопные определения подтверждают мнение большинства исследователей Кировского месторождения о его генетической связи с Джалиндинской интрузией верхнеамурского комплекса и парагенетической – с серией сопровождающих рудные тела даек пёстрого состава. Изотопный возраст пострудных даек диоритовых порфириров, определённый К-Ar методом, составляет 105 млн лет [6].

Соловьёвское месторождение, открытое и разведанное в начале XXI века, находится на юго-восточном фланге Кировского месторождения, в экзоконтакте Джалиндинской интрузии гранодиоритов нижнего мела. Вмещающие породы состоят из песчаников, алевролитов и аргиллитов долохитской толщи среднеюрского возраста. Интрузивные образования представлены серией даек диоритовых порфириров, гранодиорит-порфириров, гранодиоритов и гранодиорит-порфириров раннемелового возраста.

Рудные тела представлены минерализованными зонами, сложенными альбит-ортоклаз-мусковит-кварцевыми метасоматитами с кварцевыми жилами и прожилками. Содержание рудных минералов не превышает 3 %. Среди них преобладает арсенопирит, реже встречаются пирит, халькопирит, молибденит, лёллингит, шеелит, теллуриды висмута, висмутин и самородный висмут, а также высокопробное самородное золото (870–1000 ‰).

Из геологических реперов возраста золотого оруденения отметим среднеюрский возраст вмещающих терригенных пород, а также раннемеловой возраст сопровождающих золотое оруденение даек пёстрого состава. По геолого-структурной позиции и составу руд Соловьёвское месторождение является аналогом Кировского месторождения. В связи с этим, несмотря на отсутствие изотопных анализов возраста руд, раннемеловой, предположительно барремский, возраст его не вызывает сомнения.

Золото-кварцевая формация. В эту группу входят четыре месторождения – Золотая Го-

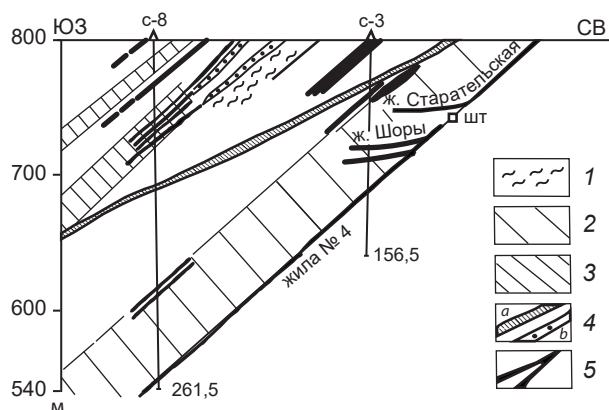


Рис. 5. Разрез месторождения Золотая Гора по [10]:

1 – биотитовые и двуслюдяные гнейсы с зонами диафторитов; 2 – пачки переслаивания гнейсов и амфиболитов; 3 – биотит-амфиболовые гнейсы и амфиболиты; 4 – дайки микродиоритов (а), фельзитов и сиенит-порфириров (b); 5 – золоторудные жилы

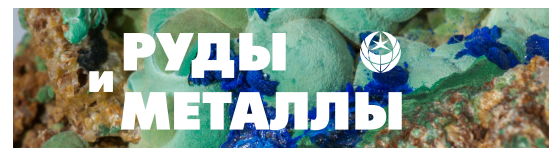
Fig. 5. Geological section across the Zolotaya Gora ore deposit, after [10]:

1 – biotite and two-mica gneisses with diaphthorite zones; 2 – units of interbedded gneisses and amphibolites; 3 – biotite-amphibole gneisses and amphibolites; 4 – dikes: (a) microdiorites and (b) felsites and syenite porphyries; 5 – gold ore veins

ра, Успенское, Одолго и Снежинка. Они являются малопродуктивными ввиду небольших параметров рудных тел. На трёх из них, кроме Снежинки, велась относительно небольшая добыча золота (от 0,5 до 2 т).

Золото-кварцевое месторождение *Золотая Гора* расположено в центральной части одноимённого РРУ, в верховьях р. Хугдер. Вмещающими породами служат биотитовые, двуслюдяные, нередко графитсодержащие гнейсы и амфиболиты раннего архея. Интрузивные образования представлены пострудными дайками микродиоритов, фельзит-порфириров и сиенит-порфириров мезозойского возраста, прорывающими золоторудные жилы [12]. Взаимоотношение пострудных даек и оруденения показано на рис. 5.

Рудные тела представлены серией мало-сульфидных кварцевых, карбонатно-кварцевых и кварц-полевошпатовых жил с высоким содержанием золота. В составе жил преобладают стекловидный кварц и калиевый по-



левой шпат, встречаются прожилки и линзы кальцита. Рудные минералы (в количестве от 5 до 15 %) – пирит, пирротин, халькопирит, галенит, молибденит и высокопробное (927–997 ‰) самородное золото.

Нижней возрастной границей служит раннеархейский возраст вмещающих оруденение гнейсов и кристаллосланцев. Верхней – позднемезозойский возраст пострудных даек микродиоритов, фельзит-порфиров и сиенит-порфиров.

Изотопный возраст оруденения определён в лаборатории изотопной геологии ВСЕГЕИ на приборе МИ-1201Т. Исследовались мономинеральные фракции полевого шпата. В результате получены изохроны с возрастом 155 ± 7 млн лет, что отвечает границе киммериджского и оксфордского ярусов верхней юры [16].

Месторождение Успенское располагается в юго-западной части одноимённого РРУ, в долине р. Малый Джуваскит. Вмещающими породами служат биотитовые, биотит-роговообманковые гнейсы и амфиболиты позднего архея. Из интрузивных образований отмечаются пластовые тела метаморфизованных габбро, габбро-амфиболитов и серпентинизированных гипербазитов позднепалеозойского возраста, а также дайки диорит-порфиров, спессартитов, гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров олёкмо-станового комплекса раннего мела. К-Аг изотопный возраст даек составляет 122–140 млн лет, что отвечает низам раннемеловой эпохи [14].

Рудные тела представлены кварцевыми, кварц-карбонат-полевошпатовыми и сульфидно-кварцевыми жилами, а также зонами прожилкового окварцевания с сульфидной вкрапленностью. Из сульфидов отмечаются пирит, арсенопирит, молибденит, сфалерит и халькопирит. Золото крупное, свободное, часто видимое, размеры его от 0,1 до 4 мм. Проба золота колеблется в пределах 799–882 ‰, в среднем 837,4 ‰.

Нижней возрастной границей служит позднеархейский возраст вмещающих оруденение гнейсов и амфиболитов. Взаимоотношения даек раннемелового возраста с рудными

телами не наблюдалось. Можно предположить, что они наиболее близки по времени к формированию золотого оруденения.

Месторождение Одолго находится в северной части Уркиминского РРУ, на правобережье р. Одолго. Вмещающими породами служат метапесчаники, биотитовые гнейсы, слюдястые сланцы и кварциты джелтулакской серии позднего архея. Часть некондиционных рудных тел располагается в массиве порфировидных гранитов и гранодиоритов раннего протерозоя. Рудными телами являются сложной формы залежи кварц-серицит-мусковитовых метасоматитов с прожилками и линзами гранулированного кварца. Из рудных минералов отмечаются титаномагнетит, пирит, пирротин и самородное золото. Золото свободное, от мелкого до крупного, высокопробное (940–960 ‰). Рудные тела пересекают пострудные дайки мелкозернистых гранит-порфиров олёкмо-станового комплекса раннего мела (рис. 6). Сделано предположение о генетической связи дайкового комплекса с ранне-позднемеловыми интрузивными и вулканогенными комплексами. К-Аг изотопный возраст даек соответствует интервалу от 120 ± 15 до 110 ± 10 млн лет, что отвечает раннемеловому этапу [14].

Нижней границей возраста золотого оруденения являются вмещающие гранитоиды раннего протерозоя. Верхней возрастной границей служит раннемеловой возраст пострудных даек гранит-порфиров, пересекающих рудные тела.

Месторождение Снежинка располагается на юго-западном фланге Соловьёвского центра в рамках Уркинского РРУ, на правом борту верховьев р. Мал Урка. Вмещающими породами служат лейкократовые граниты и граносиениты уркинского комплекса позднего триаса [8]. Широко развиты пострудные дайки гранит-порфиров и граносиенит-порфиров светлинского комплекса, а также диоритовых порфиров и спессартитов уктунского комплекса позднего триаса. Взаимоотношение рудных тел и даек показано на рис. 7.

Месторождение Снежинка представлено зонами прожилкового окварцевания и кар-

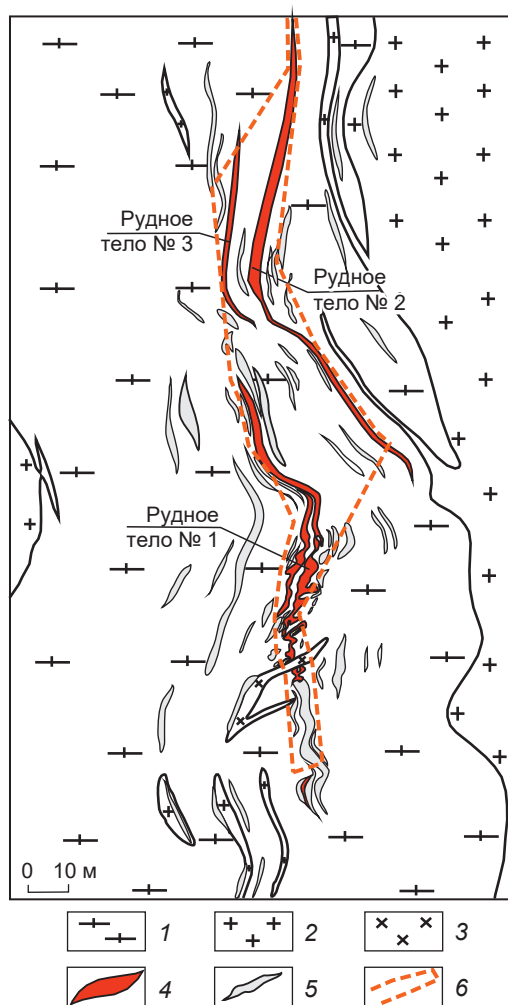


Рис. 6. Геологическое строение месторождения Одолго [14]:

1 – джелтулакская серия раннего протерозоя нерасчленённая: метапесчаники, нередко превращённые в биотитовые гнейсы; 2 – раннепротерозойские биотитовые, биотит-роговообманковые порфировидные граниты и плагиограниты; 3 – раннемеловые дайки гранит-порфиров; 4 – промышленные рудные тела; 5 – некондиционные золотосодержащие тела; 6 – контур продуктивной зоны

Fig. 6. Schematic geological map of the Odolgo deposit [14]:

1 – Dzheltulak Series of the Early Proterozoic, undivided: metasandstones, often transformed into biotite gneisses; 2 – Early Proterozoic biotite, biotite-hornblende porphyritic granites and plagiogranites; 3 – Early Cretaceous granite-porphyry and syenite-porphyry dikes; 4 – commercial-grade ore bodies; 5 – subcommercial gold-bearing bodies; 6 – outlines of the productive zone

бонатно-кварцевыми жилами в березитизированных гранитах и граносиенитах. Рудные минералы – пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит и самородное золото – встречаются в количестве первых процентов. Золото мелкое и тонкое, проба его меняется в пределах 772–870 ‰. Околорудные изменения представлены березитизацией и пропилитизацией, реже аргиллизацией [20].

Нижней возрастной границей золотого оруденения служит поздне триасовый возраст вмещающих лейкократовых гранитов и граносиенитов уркинского комплекса. Верхняя граница определена тоже в пределах триаса по наличию пострудных даек гранит-порфиров и граносиенит-порфиров светлинского комплекса, а также диоритовых порфиров и спессаритов уктунского комплекса позднего триаса.

Исследование изотопного возраста золотого оруденения проведено Rb-Sr методом в лаборатории изотопной геологии ВСЕГЕИ на приборе МИ-1201Т (аналитик Ю. П. Шергина). Исследованию подвергались мономинеральные фракции серицита и кальцита из околорудных березитов. При этом получена изохрона с возрастом $212 \pm 5,5$ млн лет, что отвечает норийскому ярусу позднего триаса (рис. 8). Это уточняет поздне триасовый возраст золотого оруденения, полученный по геологическим данным [20]. Вулкано-плутонические образования интрузивных пород уркинского, светлинского и уктунского комплексов, по-видимому, являются единой вулкано-плутонической ассоциацией, с поздними дериватами которой связано золотое оруденение месторождения Снежинка.

Обсуждение результатов. Ранее нами было показано, что формирование золоторудных месторождений Приамурской провинции произошло в единый поздне мезозойский этап тектоно-магматической активизации. Она была обусловлена коллизией Алдано-Станового и Амурского геоблоков с зажатой между ними Монголо-Охотской складчатой системой. Отмечалась тенденция омоложения возраста месторождений от позднего триаса (месторождение Снежинка) на западном фланге провинции до позднего мела на восточном (месторожде-

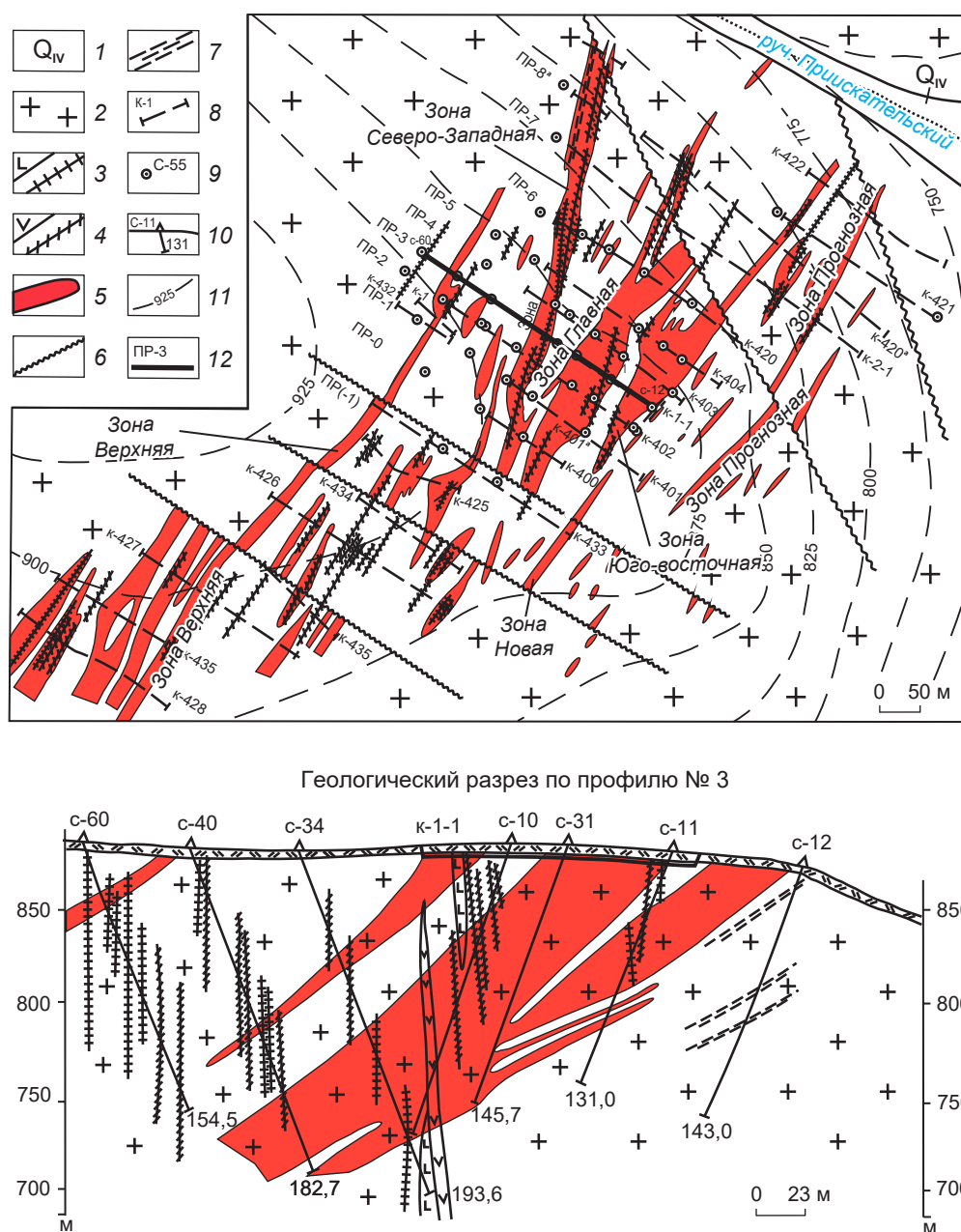
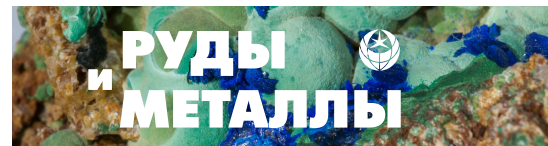


Рис. 7. План и разрез месторождения Снежинка по результатам разведочных работ [20]:

1 – аллювиальные отложения (Q_{IV}); 2 – граниты, граносиениты; дайки: 3 – гранит-порфиров, граносиенит-порфиров, 4 – диоритовых порфиров, спессартитов; 5 – контур рудных тел; 6 – разломы; 7 – зоны трещиноватости; 8 – канавы и их номера; скважины и их номера: 9 – на схеме, 10 – на разрезе; 11 – изолинии высот (м); 12 – геологический разрез по профилю № 3

Fig. 7. Plan and section of the Snezhinka deposit, based on the exploration results [20]:

1 – alluvial deposits (Q_{IV}); 2 – granites, granosyenites; dikes: 3 – granite porphyries, granosyenite porphyries, 4 – diorite porphyrites, spessartites; 5 – outlines of ore bodies; 6 – faults; 7 – fracture zones; 8 – ditches and their numbers; 9 – boreholes (on the plan) and their numbers; 10 – boreholes (on the geological section) and their numbers; 11 – altitude contours (m); 12 – geological section line along profile № 3

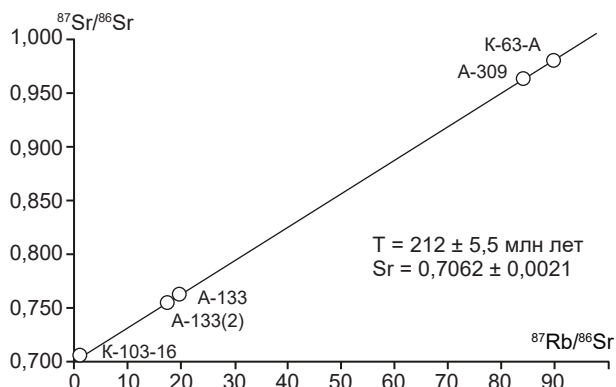


Рис. 8. Rb-Sr изохронный график для рудосопровождающих минералов месторождения Снежинка

Fig. 8. Rb-Sr isochron plot for ore-accompanying minerals of the Snezhinka deposit

ние Буровое) [17]. Расположенный на западном фланге провинции Соловьёвский золоторудный центр характеризуется изотопным возрастом золоторудных месторождений от позднего триаса (месторождение Снежинка) и ранней юры (месторождение Золотая Гора) до раннего мела (месторождения Березитовое, Кировское, Соловьёвское). Изотопный возраст других месторождений этого центра нуждается в дальнейшем изучении.

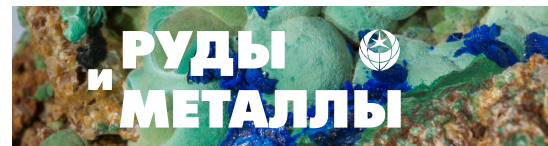
Определение геологического возраста формирования золотого оруденения Соловьёвского золоторудного центра сопряжено со значительными трудностями. Они заключаются главным образом в том, что нижняя возрастная граница, определяемая по вмещающим породам, в большинстве случаев значительно древнее изотопного возраста формирования золотого оруденения. На месторождениях Золотая Гора и Успенское вмещающими оруденение породами являются гнейсы и кристаллосланцы нижнего архея, на Одолго – метапесчаники и сланцы нижнего протерозоя, на Березитовом месторождении – верхнепалеозойские гранодиориты и граниты, на Соловьёвском – терригенные породы средней юры. Лишь на двух месторождениях возраст вмещающих интрузивных пород близок этапу формирования оруденения. На Кировском месторождении это Джалиндинская интрузия гранитов и гранодиоритов раннего мела,

а на месторождении Снежинка – граниты и граносиениты позднего триаса.

На верхнюю возрастную границу обычно указывает возраст внутри- или пострудных интрузивных образований или перекрывающих оруденение толщ. В Соловьёвском золоторудном центре перекрывающие оруденение толщ не известны, пострудные дайки развиты не на всех месторождениях, а внутрирудные известны только на Березитовом месторождении. Возраст внутрирудных даек метапорфиров этого месторождения оценён, по результатам $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопно-геохронологических исследований, в $125,2 \pm 2,4$ и $125,2 \pm 3,4$ млн лет [15], а возраст пострудных даек диоритовых порфиров и спессартитов, по результатам анализа K-Ar методом, составляет 105–100 млн лет [8].

Пострудные дайки диоритовых порфиров известны на Кировском месторождении. Их изотопный возраст, определённый K-Ar методом, составляет 105 млн лет [6]. На месторождении Золотая Гора отмечаются пострудные дайки микродиоритов, фельзит-порфиров и сиенит-порфиров позднемезозойского возраста [11]. Пострудные дайки гранит-порфиров раннемелового возраста пересекают золоторудные тела месторождения Одолго [14]. Широкое развитие пострудных даек гранит-порфиров и граносиенит-порфиров, а также диоритовых порфиров и спессартитов позднего триаса отмечается на месторождении Снежинка [7].

Более точную информацию о возрастных границах формирования золотого оруденения дают изотопные методы исследования. Результаты Rb-Sr и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ анализов указывают на позднемезозойский изотопный возраст золотого оруденения Соловьёвского центра, в интервале от позднего триаса до раннего мела. Полные данные получены об изотопном возрасте месторождений Березитовое золотополиметаллической формации и Кировское – золото-сульфидно-кварцевой, которые являются основными продуцентами рудного золота центра. Из них добыто более 80 % рудного золота. Изотопный возраст этих месторождений практически совпадает: Березитовое –



132–125 млн лет, Кировское – 131–126 млн лет, отвечая готеривскому и барремскому ярусам раннего мела. Не вызывает сомнений близкий к ним возраст формирования Соловьёвского месторождения, являющегося аналогом Кировского и расположенного на его окраине.

Изотопные определения возраста небольших по продуктивности месторождений золото-кварцевой формации указывают на их более древнее происхождение. Для месторождения Снежинка Rb-Sr изотопный возраст равен 212 ± 5 млн лет (поздний триас), а для месторождения Золотая Гора – 155 ± 7 млн лет (поздняя юра).

Заключение. В результате исследования установлено, что по геологическим данным и изотопным определениям, золоторудные мес-

торожения Соловьёвского золоторудного центра Приамурской провинции были сформированы в мезозойское время. Выявлены два этапа формирования золотого оруденения. В ранний поздне триасовый–раннеюрский этап возникли низкопродуктивные месторождения золото-кварцевой формации (Снежинка и Золотая Гора). Не исключено, что в это же время образовались и другие месторождения этой же формации – Успенское и Одолго. Во второй, раннемеловой, этап были сформированы основные продуценты золотого оруденения Соловьёвского центра – месторождения Березитовое, Кировское и Соловьёвское. Они отнесены к следующим золоторудным формациям – золотополиметаллической (Березитовое) и золото-сульфидно-кварцевой (Кировское и Соловьёвское).

Список литературы

1. Алексеев Я. В., Заскинд Е. С., Конкина О. М. К вопросу выделения минерально-сырьевых центров твёрдых полезных ископаемых // Отечественная геология. – 2021. – № 2. – С. 19–27.
2. Вах А. С. Золотая минерализация и особенности генезиса Березитового полиметаллического месторождения (Верхнее Приамурье) : автореф. дис. на соискание учёного степеней. канд. геол.-минерал. наук. – Владивосток : ДВГИ ДВО АН СССР, 1989. – 23 с.
3. Вах А. С., Авченко О. В., Киселев В. И. [и др.]. Геохронологические U-Pb изотопные исследования цирконов из гранитов и рудоносных метасоматитов Березитового золото-полиметаллического месторождения (Верхнее Приамурье, Россия) // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32, № 6. – С. 20–39.
4. Гвоздев В. И., Горячев Н. А., Вах А. С. [и др.]. Минеральный состав и типоморфные особенности минералов золоторудных жил Кировского месторождения (Верхнее Приамурье) // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32, № 6. – С. 40–51.
5. Горошко М. В., Каплун В. Б., Малышев Ю. Ф. Желтулакский разлом: глубинное строение, эволюция, металлогения // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 38–54.
6. Гуров Л. П. Минеральные ассоциации Кировского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) // Золотая минерализация Верхнего и Среднего Приамурья. – Владивосток : ДВНЦ, 1978. – С. 11–86.
7. Константинов М. М. Золоторудные провинции мира. – М. : Научный мир, 2006. – 358 с.
8. Копылов М. И., Петухова Л. Л. Сергачинская золоторудная зона и перспективы выявления новых месторождений золота // Руды и металлы. – 2019. – № 1. – С. 37–44.
9. Мельников А. В., Сорокин А. А., Пономарчук В. А., Травин А. В., Сорокин А. П. Золотополиметаллическое месторождение Березитовое: основные минерагенические особенности, возраст и связь с магматизмом // Геология и геофизика. – 2009. – № 3. – С. 258–265.
10. Месторождения рудного золота / под ред. В. А. Степанова. – Благовещенск : АмГУ, 2017. – 150 с.
11. Моисеенко В. Г., Степанов В. А., Шергина Ю. П. Возраст формирования Кировского золоторудного месторождения // Доклады Академии наук. – 1999. – Т. 369, № 3. – С. 354–356.
12. Моисеенко В. Г., Эйриш Л. В. Золоторудные месторождения Востока Азии. – Владивосток : Дальнаука, 1996. – 352 с.
13. Округин В. М. Новые данные о возрасте и генезисе эпitherмальных месторождений зоны перехода континент–океан // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики : Материалы Всероссийского совещания, посвящённого 90-летию акаде-

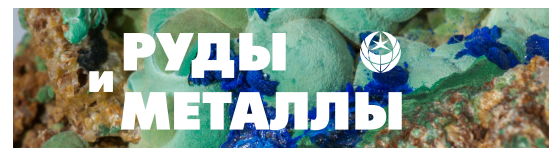
мика Н. А. Шилов (XII годич. собр. Сев.-Вост. отделения ВМО) : [в 3-х т.]. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – Т. 3. – С. 39–41.

14. Петрук Н. Н., Шилова М. Н., Козлов С. А. [и др.]. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000. Лист N-51 – Сковородино (М-51). Объяснительная записка. – СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 448 с.
15. Сорокин А. А., Пономарчук В. А., Травин А. В., Рогулина Л. И., Пономарчук А. В. Корреляция процессов рудообразования на золото-полиметаллическом месторождении Березитовое западной части Селенгино-Станового супертеррейна и региональных тектономагматических событий // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 3. – С. 432–448.
16. Степанов В. А. Этапы формирования и генезис золоторудных месторождений Приамурья // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 403, № 1. – С. 83–87.

17. Степанов В. А. Одноэтапность формирования золоторудных месторождений Приамурской провинции // Основные проблемы в учении об эндогенных рудных месторождениях: новые горизонты. – М. : ИГЕМ РАН, 2017. – С. 465–468.
18. Степанов В. А., Шергина Ю. П., Шкорбатова Г. С. и др. Возраст руд Кубакинского месторождения // Тихоокеанская геология. – 1998. – Т. 17, № 5. – С. 89–97.
19. Степанов В. А., Мельников А. В. Исторически сложившиеся центры рудного золота в Приамурской провинции // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 12. – С. 15–23.
20. Степанов В. А., Мельников А. В. Золоторудное месторождение Снежинка Уркинского рудно-россыпного узла Приамурской провинции // Отечественная геология. – 2022. – № 3. – С. 22–31.
21. Степанов В. А., Мельников А. В. Перспективы Соловьёвского золоторудного центра Приамурской золотоносной провинции // Вестник ДВО РАН. – 2023. – № 1. – С. 6–20.

References

1. Alekseev Ya. V., Zaskind E. S., Konkina O. M. K voprosu vydeleniya mineral'no-syr'evykh tsentrov tverdykh poleznykh iskopaemykh [On the issue of allocation of mineral resource centers of solid minerals], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2021, No 2, pp. 19–27. (In Russ.).
2. Vakh A. S. Zolotaya mineralizatsiya i osobennosti genezisa Beresitovogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Verkhnee Priamur'e) [Golden mineralization and features of the genesis of the Beresite polymetallic deposit (Upper Amur region): Extended abstract of candidate's thesis], Vladivostok, DVGI DVO AN SSSR Publ., 1989, 23 p.
3. Vakh A. S., Avchenko O. V., Kiselev V. I., Sergeev S. A., Presnyakov S. L. Geokhronologicheskie U-Pb izotopnye issledovaniya tsirkonov iz granitov i rudonosnykh metasomatitov Beresitovogo zolotopolimetallicheskogo mestorozhdeniya (Verkhnee Priamur'e, Rossiya) [U-Pb isotopic geochronologic investigations of zircons from granites and ore-bearing metasomatites of the Beresitiovoe gold-polymetallic deposit (Upper Amur region)], *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], 2013, V. 32, No 6, pp. 20–39. (In Russ.).
4. Gvozdev V. I., Goryachev N. A., Vakh A. S., Fedoseev D. G., Semenyak B. I. Mineral'nyi sostav i tipomorfnye osobennosti mineralov zolotorudnykh zhil Kirovskogo mestorozhdeniya (Verkhnee Priamur'e) [Mineral composition and typomorphic features of minerals from gold-ore veins of the Kirovskoe deposit (Upper Priamurye)], *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], 2013, V. 32, No 6, pp. 40–51. (In Russ.).
5. Goroshko M. V., Kaplun V. B., Malyshev Yu. F. Dzheltulakskii razlom: glubinnoe stroenie, evolyutsiya, metallogeniya [The Dzheltulak fault: deep structure evolution and metallogeny], *Litosfera* [Lithosphere], 2010, No 6, pp. 38–54. (In Russ.).
6. Gurov L. P. Mineral'nye assotsiatsii Kirovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Verkhnee Priamur'e) [Mineral associations of the Kirov gold deposit (Upper Amur region)], *Zolotaya mineralizatsiya Verkhnego i Srednego Priamur'ya* [Gold mineralization of the Upper and Middle Amur region], Vladivostok, DVNTs Publ., 1978, pp. 11–86.
7. Konstantinov M. M. Zolotorudnye provintsii mira [Gold ore provinces of the world], Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2006, 358 p.
8. Kopylov M. I., Petukhova L. L. Sergachinskaya zolotorudnaya zona i perspektivy vyyavleniya novykh mestorozhdenii zolota [Sergachinskaya gold zone and prospects for new gold deposit identification], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2019, No 1, 37–44. (In Russ.).
9. Mel'nikov A. V., Sorokin A. A., Ponomarchuk V. A., Travin A. V., Sorokin A. P. Zolotopolimetallicheskoe mestorozhdenie Beresitovoe: osnovnye mineralogenicheskie osobennosti, vozrast i svyaz' s magmatizmom [The Beresitovoe gold-polymetallic deposit



- (East Siberia): mineralogy, age, and relation with magmatism], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2009, V. 50, No 3, pp. 258–265. (In Russ.).
10. Mestorozhdeniya rudnogo zolota [Deposits of ore gold], eds. V. A. Stepanov, Blagoveshchensk, AmGU Publ., 2017, 150 p.
 11. Moiseenko V. G., Stepanov V. A., Shergina Yu. P. Vozrast formirovaniya Kirovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya [The age of formation of the Kirov gold deposit], *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 1999, V. 369, No 3, pp. 354–356. (In Russ.).
 12. Moiseenko V. G., Eirish L. V. Zolotorudnye mestorozhdeniya Vostoka Azii [Gold deposits of East Asia], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 1996, 352 p.
 13. Okrugin V. M. Novye dannye o vozraste i genezise epitermal'nykh mestorozhdenii zony perekhoda kontinent – okean [New data on the age and genesis of epithermal deposits of the continent–ocean transition zone], *Geodinamika, magmatizm i minerageniya kontinental'nykh okrain Severa Patsifiki: Materialy Vserossiiskogo soveshchaniya, posvyashchennogo 90-letiyu akademika N. A. Shilo (XII godichnoe sobranie Severo-Vostochnogo otdeleniya VMO)* [Geodynamics, magmatism and minerageny of the continental margins of the North of Pacifica : Proceedings of the All-Russian Meeting dedicated to the 90th anniversary of Academician N. A. Shilo (XII Annual Meeting of the North-eastern Branch of the WMO)], Magadan, SVKNII DVO RAN, 2003, V. 3, pp. 39–41.
 14. Petruk N. N., Shilova M. N., Kozlov S. A. [et al.]. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000. List N-51 – Skovorodino (M-51). Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000. Sheet N-51 – Skovorodino (M-51). An explanatory note], St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI Publ., 2009, 448 p.
 15. Sorokin A. A., Ponomarchuk V. A., Travin A. V., Rogulina L. I., Ponomarchuk A. V. Korrelyatsiya protsessov rudoobrazovaniya na zoloto-polimetallicheskom mestorozhdenii Berezitovoe zapadnoi chasti Selengino-Stanovogo superterreina i regional'nykh tektonomagmaticheskikh sobytii [Correlation between the ore formation processes in the Berezitovoe gold-complex-metal deposit (Western part of the Selenga-Stanovoy superterrane) and the regional tectonomagmatic events], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2014, V. 55, No 3, pp. 432–448. (In Russ.).
 16. Stepanov V. A. Etapy formirovaniya i genezis zolotorudnykh mestorozhdenii Priamur'ya [Stages of formation and genesis of gold deposits in the Amur region], *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2005, V. 403, No 1, pp. 83–87. (In Russ.).
 17. Stepanov V. A. Odnoetapnost' formirovaniya zolotorudnykh mestorozhdenii Priamurskoi provintsii [One-stage formation of gold deposits in the Amur province], *Osnovnye problemy v uchenii ob endogennykh rudnykh mestorozhdeniyakh: novye gorizonty* [Main problems in the study of endogenous ore deposits: new horizons], Moscow, IGEM RAN Publ., 2017, pp. 465–468. (In Russ.).
 18. Stepanov V. A., Shergina Yu. P., Shkorbatova G. S. [et al.]. Vozrast rud Kubakinskogo mestorozhdeniya [Age of the ores of the Kubakinskoye deposit], *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], 1998, V. 17, No 5, pp. 89–97. (In Russ.).
 19. Stepanov V. A., Mel'nikov A. V. Istoricheski slozhivshiesya tsentry rudnogo zolota v Priamurskoi provintsii [Historical centers of ore gold mining in the Amur province], *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources], 2021, No 12, pp. 15–23. (In Russ.).
 20. Stepanov V. A., Mel'nikov A. V. Zolotorudnoe mestorozhdenie Snezhinka Urkinskogo rudno-rossypnogo uzla Priamurskoi provintsii [The Snezhinka gold ore deposit in the Urkinsky ore-placer cluster of the Amur province], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2022, No 3, pp. 22–31. (In Russ.).
 21. Stepanov V. A., Mel'nikov A. V. Perspektivy Solov'yevskogo zolotorudnogo tsentra Priamurskoi zolotonosnoi provintsii [Prospects of the Solovyev gold mining center of the Amur gold-bearing province], *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk* [Vestnik of Far Eastern Branch of RAS], 2023, No 1, pp. 6–20. (In Russ.).

Степанов Виталий Алексеевич (vitstepanov@yandex.ru)

доктор геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник ¹

Мельников Антон Владимирович

кандидат геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник ²

¹ Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

² Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск, Россия