

Полигенное и полихронное золотое оруденение Среднего Урала: этапность проявления золотоносных гидротермально-метасоматических процессов

Иванов А. И.¹, Трушин С. И.²

¹ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва, Россия

² АО «Полиметалл», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. АО «Полиметалл» в Туринско-Ауэрбаховском рудном районе Среднего Урала в последние годы выявлено несколько новых золоторудных месторождений. Изучение геологических и геохимических материалов по этим объектам позволило обосновать их полигенный и полихронный характер. Золотое оруденение формировалось длительно в течение конседиментационной и коллизионной эпох развития региона. При седиментации вулканогенно-осадочные образования за счёт подводного флюидопотока при вулканических и субвулканических процессах обогащались рудными элементами, вплоть до формирования колчеданных, в том числе золотоносных, руд. В коллизионной эпохе установлено три этапа золотонакопления, связанных с линейным складкообразованием и завершающим гранитоидным магматизмом, каждый из которых сопровождался проявлением золотоносных гидротермально-метасоматических процессов березитоидного типа. Первые два этапа являлись рудноподготовительными и привели к формированию золотоносных минерализованных зон березитов, в пределах которых в третий рудный этап при их активизации с проявлением расщепления, дробления, прожилкового окварцевания, сульфидизации сформировались рудные зоны. Анализ материалов по известному Воронцовскому месторождению также подтвердил полигенный и полихронный характер рудообразования, отмечаемый ранее рядом исследователей.

Ключевые слова: Средний Урал, Туринско-Ауэрбаховский рудный район, золоторудные месторождения, полигенные и полихронные, гидротермально-метасоматические процессы, этапы золотонакопления.

Для цитирования: Иванов А. И., Трушин С. И. Полигенное и полихронное золотое оруденение Среднего Урала: этапность проявления золотоносных гидротермально-метасоматических процессов. Руды и металлы. 2024. № 4. С. 38–65. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10017.

Polygenous and polychronous gold mineralization of the Middle Urals: Staging of appearance of the gold-bearing hydrothermal-metasomatic processes

Ivanov A. I.¹, Trushin S. I.²

¹ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia

² Polymetal JSC, St. Petersburg, Russia

Annotation. Polymetal JSC has identified several new gold deposits in the Turinsko-Auerbachovsky ore region of the Middle Urals in recent years. The study of geological and geochemical materials on these objects allowed us to substantiate their polygenic and polychronous nature. The gold mineralization took a long time to form during the concordimentary and conflict epochs of the region's development. During sedimentation, volcanogenic-sedimentary formations were enriched with ore elements due to underwater fluid flow during volcanic and subvolcanic processes, up to the formation of pyrites, including gold-bearing ores. In the collisional epoch, three stages of gold accumulation were established, associated with linear folding and final granitoid magmatism, each of which was accompanied by the manifestation of gold-bearing hydrothermal-metasomatic processes of the berezitoid type. The first two stages were ore preparation and led to the formation of gold-bearing mineralized zones of berezites, within which, during the third ore stage, ore zones were formed during their activation with the manifestation of shale, crushing, veining, and sulfidization. The analysis of materials from the well-known Vorontsovskoye deposit also confirmed the polygenic and polychronous nature of ore formation, previously noted by a number of researchers.

Keywords: Middle Urals, Tura-Auerbach ore region, gold ore deposits, polygenous and polychronous, hydrothermal-metasomatic processes, stages of gold accumulation.

For citation: Ivanov A. I., Trushin S. I. Polygenous and polychronous gold mineralization of the Middle Urals: Staging of appearance of the gold-bearing hydrothermal-metasomatic processes. Ores and metals, 2024, № 4, pp. 38–65. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10017.



Введение. В пределах Туринско-Ауэрбаховского рудного района (ТАРР), расположенного в северной части Среднего Урала, ещё со времён царской России известны мелкие жильные месторождения золота, золотосодержащие скарновые месторождения железа и меди в экзоконтакте крупного многофазного Ауэрбаховского плутона и россыпи золота. После открытия и разведки в 80–90-х годах прошлого века крупного Воронцовского золоторудного месторождения внимание исследователей полезных ископаемых региона в основном было сосредоточено на его изучении [1, 2, 7, 9–11, 13–17]. Других же золоторудных месторождений в течение почти 30 лет в ТАРР выявлено не было, что во многом объяснялось «закрытостью» территории – залесённостью, задернованностью и повсеместным распространением перекрывающих коренные породы четвертичных отложений различной мощности.

В последние годы геологоразведочными работами АО «Полиметалл» (АО «Золото Северного Урала» – АО «ЗСУ»), разрабатывающим месторождение Воронцовское, в пределах рудного района за счёт широкого применения мелкого бурения для вскрытия и опробования коренных пород выявлены новые золоторудные месторождения и рудопроявления: Пещерное, Горнячка, Андрей (Восточный, Северный, Западный), Дорожное, Шайтанка. Изучение геологических, геофизических и геохимических материалов по всем этим золоторудным объектам показало значительное сходство закономерностей их формирования и, прежде всего, однотипность проявления золотоносных гидротермально-метасоматических процессов в коллизионный этап развития региона.

Целью настоящей работы является обоснование основных закономерностей золотого рудообразования для составления прогнозно-поисковой модели месторождений, определения эффективного прогнозно-поискового комплекса как основы для прогнозирования и поисков новых золоторудных месторождений на Среднем Урале.

Геологическое строение Среднего Урала, в том числе ТАРР, изучалось длительное вре-

мя многими поколениями геологов и охарактеризовано в многочисленных фондовых и опубликованных материалах, в том числе обобщающего характера [14 и др.]. В связи с этим в настоящей статье мы его специально не рассматриваем; основные элементы геологического строения представлены на геологической карте, составленной по материалам ГДП-50 (Н. С. Лисов, 1978), ГДП-200 (Г. А. Петров, 2009 и Г. Н. Бороздина, 2017), обобщающим материалам ЦНИГРИ (А. В. Андреев, 2023), и в легенде к ней (рис. 1).

В геологической истории ТАРР, в котором вскрываются в основном ордовикско-среднедевонские геологические образования, как и в целом для Урала [14 и др.] выделяются конседиментационная и коллизионная эпохи, каждая из которых внесла свой вклад в золотонакопление.

В конседиментационную эпоху (ордовик-ранний девон?) первичное обогащение вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород золотом и элементами-спутниками могло осуществляться, как полагает ряд исследователей, на этапе их формирования за счёт подводного флюидопотока при вулканических и субвулканических процессах и (или) из зон конседиментационных глубинных разломов. Подтверждением служит широко проявленное в вулканогенно-осадочных образованиях этого возраста на Урале колчеданное, в том числе золотосодержащее, оруденение. Вероятно, что в последующую коллизионную эпоху золото из этих пород могло мобилизовываться при проявлении гидротермально-метасоматических процессов и переотлагаться в структурных ловушках.

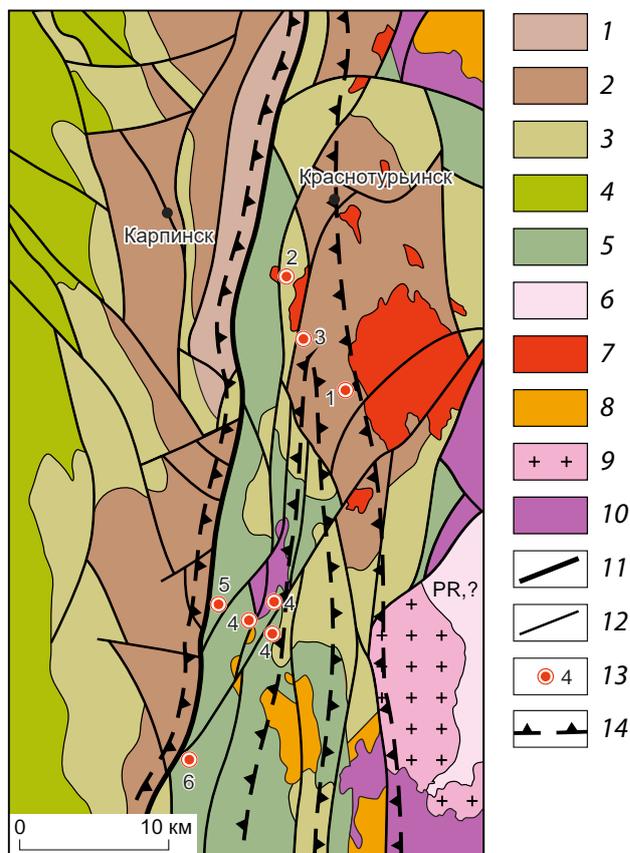
Золотоносные гидротермально-метасоматические преобразования пород проявились в течение коллизионной (ранне-среднедевонской) эпохи развития региона, преимущественно в этапы линейного складкообразования и завершающего магматизма. Регионально-метаморфические преобразования пород пренит-пумпеллитовой фации [1], проявившиеся во временной период между линейным складкообразованием и завершающим магматизмом, в связи с их низкотемпературным

характером и сложностью «вычленения» в пределах золотоносных площадей из-за проявления последующих интенсивных гидротермально-метасоматических процессов здесь не рассматриваются. В настоящей статье будут обсуждаться именно золотоносные гидротермально-метасоматические процессы коллизионной эпохи.

Фактический материал. Гидротермально-метасоматические процессы на золоторудных объектах авторами изучались в карьерах на месторождениях Пещерное и Воронцовское, в керне скважин, пробуренных на месторождениях Пещерное, Горнячка, Андрей, Воронцовское и других участках. Также использовались геологические, геохимические и геофизические материалы (геологические карты, разрезы с аналитическими данными и т. д.) по золоторудным объектам АО «ЗСУ», фотодокументация керна скважин геологов АО «ЗСУ», фотографии керна и карьеров А. И. Иванова, описания и фото шлифов А. И. Иванова, фото шлифов С. Г. Кряжева, учитывалась информация по петрографическому описанию шлифов специалистов ФГБУ «ВСЕГЕИ» (В. Ф. Проскурнин и др., 2019ф) и Л. А. Санько (АО «ЗСУ»).

Результаты исследований. Изучение всего комплекса материалов позволило авторам обосновать, что золотое рудообразование в ТАРР связано с гидротермально-метасоматическими процессами березитоидного типа, проявившимися в коллизионную эпоху развития региона. В результате выделено три последовательных этапа проявления этих процессов: первый связан с линейным складкообразованием, а второй и третий – с завершающим этапом гранитоидного магматизма.

Этап I. При линейном складкообразовании в позднекладчатый этап при активизации продольных (субмеридиональных) глубинных разломов фундамента, прежде всего Коноваловского (Главного Уральского [14]), в складчатом чехле в крыльях и ядерных частях мегаантиклиналей (см. рис. 1) заложены зоны складчато-разрывных деформаций (ЗСРД), в пределах которых проявилась железо-магнезиальная карбонатизация («буропшпатизация») первого этапа (в основном это



анкерит). Она проявилась по «массе» во всех деформируемых породах, носила метасоматический порфиробластический характер и визуально устанавливается в керне скважин в зоне окисления в приповерхностных условиях по «побурению» вдоль водопроницаемых трещин внешне не изменённых пород (рис. 2) за счёт лимонитизации анкерита (видны мелкие лимонитизированные порфиробласты) и «пропитывания» лимонитом всего объёма породы. В шлифах наблюдается более интенсивное проявление порфиробластической буропшпатизации в относительно более грубозернистых породах (рис. 3) вследствие, по-видимому, их более высокой проницаемости для растворов и (или) более благоприятного для формирования анкерита состава. Порфиробласты имеют как сложные формы, так и правильные кристаллографические очертания в виде ромбоэдров.

По результатам спектрального анализа в таких породах на месторождении Пещерное



Рис. 1. Схематизированная геологическая карта Туринско-Ауэрбаховского рудного района, составлена А. И. Ивановым по материалам ГДП-50 (Н. С. Лисов, 1978), ГДП-200 (Г. А. Петров, 2009 и Г. Н. Бороздина, 2017), обобщающим материалам ЦНИГРИ (А. В. Андреев, 2023):

1 – средний–верхний девон, *лимкинская свита*: в нижней части – известняки, в верхней – тонкое переслаивание полимиктовых туфопесчаников, песчаников, туффитов, кремнистых туффитов, кремнистых, кремнисто-глинистых сланцев; 2 – нижний девон: в западной части РР *перевозская, вагранская, тальтийская, высотинская свиты* – туфоконгломераты, туфопесчаники в переслаивании с известняками, известняки с прослоями известково-глинистых сланцев, песчаников и конгломератов; в восточной и центральных частях РР *краснотурьинская свита* – туфы андезитов и андезибазальтов, андезидацитов, базальтов с прослоями лав андезитов и андезибазальтов, туфоконгломератов, туфопесчаников, туфоалевролитов и известняков, пачки массивных и брекчиевидных рифогенных известняков, иногда с прослоями туфопесчаников и туфоалевролитов, экструзивно-субвулканические тела андезитов и андезибазальтов; 3 – верхний силур–нижний девон, *туринская свита* – туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоалевролиты, известняки (в том числе рифогенные), лавы, экструзии, силлы и дайки трахибазальтов, трахиандезибазальтов, трахиандезитов, трахитов; 4 – нижний силур, *шемурская, павдинская свиты* – лавы и туфы андезитов, андезибазальтов, базальтов, дацит-андезитов, дацитов, риодацитов, туфопесчаники, туфоконгломераты и известняки, дайки и штоки долеритов, базальтов, андезибазальтов; 5 – ордовик–нижний силур, *красноуральская свита* – базальты, андезибазальты и андезиты, реже кислые вулканы, экструзивные и субвулканические тела дацитов–риодацитов; 6 – нижнепротерозойский метаморфический комплекс (салдинский) мигматит-амфиболит-гнейсовой формации; 7–10 – интрузивные комплексы: 7 – *ауэрбаховский* (нижний девон): первая фаза – габбро и габбродиориты, вторая фаза – диориты, третья фаза – гранодиориты и граниты, 8 – *левинский* (нижний–средний силур) – габбро, диориты, плагиограниты, слагают мелкие тела среди полей развития пород красноуральской свиты, 9 – *верхисетский* (нижний–средний карбон) – крупнозернистые биотитовые граниты и гранодиориты, 10 – *серовский* (средний ордовик) – серпентинизированные дуниты, верлиты, гарцбургиты, клинопироксениты, серпентиниты (аподунитовые, апоперидотитовые и апопироксенитовые); 11 – главный шов Уральского глубинного разлома (Коноваловский разлом); 12 – главные разломы; 13 – золоторудные месторождения: 1 – Воронцовское, 2 – Пещерное, 3 – Горнячка, 4 – Андрей (Восточный, Западный, Северный), 5 – Дорожное, 6 – Шайтанка; 14 – зоны складчато-разрывных деформаций (ЗСРД)

Fig. 1. Schematic geological map of the Tura-Auerbakh ore region, compiled by A. I. Ivanov based on data of the advanced geological survey projects GDP-50 (N. S. Lisov, 1978) and GDP-200 (G. A. Petrov, 2009 and G. N. Borozdina, 2017), and of generalizing materials of TsNIGRI (A. V. Andreev, 2023):

1 – Middle-Upper Devonian, *Limka Formation*: the lower section, limestones; the upper section, thin interbedding of polymictic tuffaceous sandstones, sandstones, tuffites, cherty tuffites, and cherty shales; 2 – Lower Devonian: in the western portion of the ore region, the *Perevoz, Vagransk, Taltiysk, and Vysotinsk* formations (tuffaceous conglomerates, tuffaceous sandstones, interbedded with limestones; limestones with interlayers of calcareous shales, sandstones, and conglomerates); in the eastern and central portions of the ore region, the *Krasnoturyinsk Formation* (tuffs of andesite, basaltic andesite, dacitic andesite, and basalt with interlayers of andesite and basaltic andesite lavas, tuffaceous conglomerates, tuffaceous sandstones, tuffaceous siltstones, and limestones; members of massive and brecciated reef limestones, with sporadic interlayers of tuffaceous sandstones and siltstones; extrusive-subvolcanic bodies of andesites and basaltic andesites); 3 – Upper Silurian–Lower Devonian, *Tura Formation* (tuffaceous conglomerates, tuffaceous sandstones, tuffaceous siltstones, limestones, including reef limestones; lavas, extrusions, sills, and dikes of trachybasalt, trachyandesite-basalt, trachyandesite, and trachyte); 4 – Lower Silurian, *Shemur and Pavda* formations (lavas and tuffs of andesite, basaltic andesite, basalt, dacitic andesite, dacite, and rhyodacite; tuffaceous sandstones, tuffaceous conglomerates; and limestones; dikes and stocks of dolerite, basalt, and basaltic andesite); 5 – Ordovician–Lower Silurian, *Krasnouralsk Formation* (basalts, basaltic andesites, and andesites; less commonly, silicic volcanics, extrusive and subvolcanic bodies of dacites–rhyodacite); 6 – Lower Proterozoic metamorphic complex (Salda Complex) of the migmatite-amphibolite-gneiss association; 7–10 – intrusive suites: 7 – *Auerbakh Suite* (Lower Devonian): first phase (gabbro and gabbrodiorites), second phase (diorites), and third phase (granodiorites and granites), 8 – *Levinsk Suite* (Lower–Middle Silurian), gabbro, diorites, and plagiogranites, that form small bodies among the areas of the Krasnouralsk Formation, 9 – *Verkhiset'sk Suite* (Lower–Middle Carboniferous), coarse-grained biotite granites and granodiorites, 10 – *Serov Suite* (Middle Ordovician), serpentized dunites, wehrlites, harzburgites, clinopyroxenites, and serpentinites (apodunite, apoperidotite, and apopyroxenite); 11 – main suture of the Ural deep fault (Konovalovsky fault); 12 – main faults; 13 – gold ore deposits: 1 – Vorontsovskoe, 2 – Peshchernoe, 3 – Gornychka, 4 – Andrey (Eastern, Western, and Northern), 5 – Dorozhnoe, 6 – Shaitanka; 14 – zones of folded-fracture deformation



Рис. 2. Проявление тонковкрапленной железо-магнезиальной карбонатазации (анкерит) первого рудноподготовительного этапа («бурошпатизация-1»), устанавливаемой в зоне окисления по «побурению» пород вдоль водопроницаемых трещин:

a – в переслаивающихся туфоалевропесчаниках и туфоалевролитах на месторождении Пещерное (скв. 221); *b* – в туфопесчаниках на месторождении Дорожное; *c* – в кремнистых породах на месторождении Андрей Восточный; диаметр керн 63 мм, *a* – фото АО «ЗСУ», *b* и *c* – фото А. И. Иванова

Fig. 2. Manifestation of finely disseminated ferromagnesian carbonatization (ankerite) of the first ore-preparative stage (“brown-sparization-1”), established in the oxidation zone due to “browning” of the rocks along water-permeable cracks:

a – in interbedded tuffaceous sandstones and siltstones at the Peshchernoe deposit (Borehole 221); *b* – in tuffaceous sandstones at the Dorozhnoe deposit; *c* – in cherty rocks at the Andrey Eastern deposit; core diameter 63 mm (*a*, photo by JSC ZSU; *b* and *c*, photo by A. I. Ivanov)

(см. рис. 2, *a*) в аномальных содержаниях устанавливаются мышьяк (0,003–0,004 %) и серебро (0,07–0,33 г/т). В связи с высоким пределом обнаружения золота как по спектральному, так и по пробирному анализам (ПО = 0,1 г/т), при проведённых аналитических исследованиях оно в превышающих этот предел содержаниях не зафиксировано. А так как в других золотоносных регионах подобные бурошпатизированные породы кроме аномальных содержаний мышьяка (> 0,003 %) содержат и золото в содержаниях 0,005–0,05 г/т [3], то можно предполагать аналогичный уровень содержания золота в таких породах и на территории ТАРР.

Но и сам факт аномальности бурошпатизированных пород первого этапа ТАРР по мышьяку свидетельствует об их сходстве с подобными бурошпатизированными золотоносными породами в рудоконтролирующих ЗСРД

в известных золоторудных районах [3–5]. По мнению Ф. А. Летникова [6], подобная бурошпатизация пород происходит в С-флюидных системах, имеющих астеносферный источник. Флюиды этих систем, обогащённые золотом и мышьяком, мигрируют в земную кору по зонам глубинных разломов (ЗСРД). В процессе миграции флюидов происходит их дополнительное обогащение золотом за счёт мобилизации из вмещающих пород в нижних частях «колонны» ЗСРД. Формирование порфиробластов бурых шпатов происходит в *PT*-условиях «зоны» хлорита–мусковита. Именно в подобных ЗСРД при последующих этапах коллизионной эпохи развития золотоносных регионов формируются золоторудные месторождения [3, 4].

Этап II гидротермально-метасоматических преобразований пород проявился синхронно с внедрением гранитоидов третьей фа-

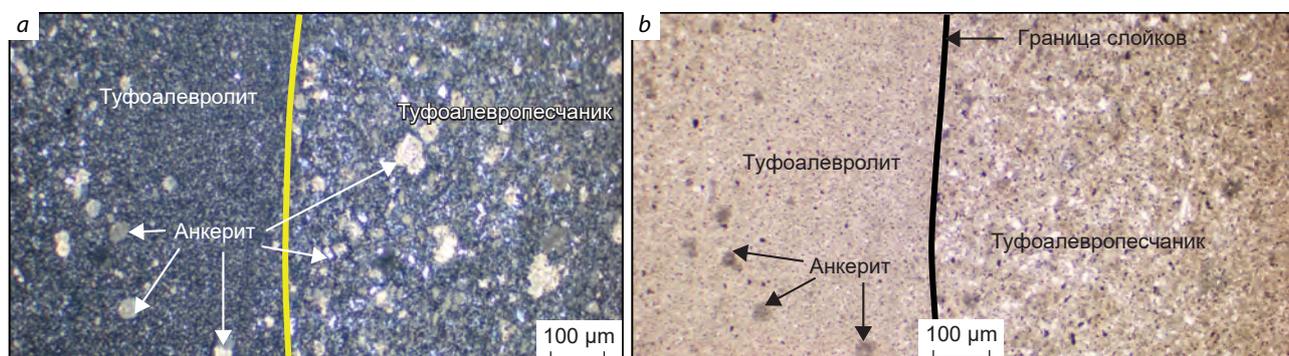


Рис. 3. Характер проявления тонковкрапленной железо-магнезиальной карбонатизации (анкерит) первого рудноподготовительного этапа («бурошпатизация-1») в переслаивающихся туфоалевропесчаниках и туфоалевролитах (месторождение Пещерное, скв. 414-85):

a – николи +, *b* – николи II. Виден литологический контроль процесса: интенсивность его проявления значительно выше в относительно более крупнообломочных породах. Фото шлифа А. И. Иванова

Fig. 3. The character of finely disseminated ferromagnesian carbonatization (ankerite) of the first ore-preparative stage ("brown-sparization-1") in interbedded tuffaceous silty sandstones and siltstones (Peschernoe deposit, Borehole 414-85):

a – nicols +, *b* – nicols II. Visible is the lithological control of the process: the process intensity is significantly higher in the relatively coarser clastic rocks. Photo by A. I. Ivanov

зы ауэрбаховского комплекса в разломных швах (зоны рассланцевания, дробления) в пределах соскладчатых ЗСРД при их активизации в качестве сдвигов и сдвиго-взбросов. Этот этап является основным рудноподготовительным: при рассланцевании и дроблении в результате проявления интенсивных гидротермально-метасоматических процессов породы любого состава замещаются агрегатом новообразованных анкерита (определение ЦНИГРИ), мусковита–серицита, кварца, альбита, пирита – то есть преобразуются в березиты. Процесс березитизации абсолютно однотипен на всех перечисленных выше месторождениях и рудопоявлениях. На начальной стадии березитизации второго этапа преобладает гидротермальная составляющая процесса над метасоматической. Наглядно это видно на рис. 4 (в переслаивающихся туфопесчаниках и туфоалевролитах): в зонах разломных хрупких и хрупко-пластичных деформаций возникают светло-серые до белого жилиподобные образования («березиты-2») с нерезкими границами в разноориентированных, в том числе взаимно-пересекающихся,

трещинах, зонах дробления. По мере нарастания процесса (увеличения относительного количества «березитов-2» в объёме породы) интенсивнее проявляется метасоматическая составляющая: березитизации подвергаются (становятся всё более светлыми – рис. 5, 6) отдельные (более грубозернистые?) прослои в туфогенной толще, а затем и межтрещинное пространство вплоть до полного преобразования всего объёма пород в «однообразные» светло-серые, хорошо выделяющиеся на более тёмном фоне неизменённых или слабо изменённых вмещающих пород, «полнопроявленные» березиты, имеющие мусковит(серицит)-(альбит)-кварц-анкеритовый состав (рис. 7). Аналогичным образом «березиты-2» формируются по базальтам, диоритам, ультрабазидам (рис. 8–10). При этом по сравнению с туфогенными породами в составе «полнопроявленных» березитов («березиты-2» на всех рисунках), образованных по породам среднеосновного и основного составов, кроме мусковита в тех или иных количествах развивается хлорит, а в образованных по ультраосновным породам – тальк и эпидот.



Рис. 4. Характер проявления железо-магнезиальной карбонатизации (бурошпатизации) второго (основного) рудноподготовительного этапа в переслаивающихся туфоалевропесчаниках и туфоалевролитах (месторождение Пещерное, скв. 189, промышленные интервалы расположены ниже – на 263–265 и 271,5–277,0 м):

видна неравномерность проявления и интенсивности бурошпатизации (степени осветления породы) – по разноориентированным трещинам и в зависимости от литологии; осветлённые участки – «березиты-2», граница зоны трещиноватости и березитизации резкая (в двух верхних «столбиках» керна бурошпатизация 2-го этапа почти не проявлена). В бурошпатизированном интервале в аномальных содержаниях «появляются» As (0,001–0,002 %), Ag (до 0,4 г/т), Au в связи с низкой чувствительностью анализа (ПО = 0,1 г/т) не установлено. Здесь и далее фото керна – АО «ЗСУ»

Fig. 4. The character of ferromagnesian carbonatization (brown-sparization) of the second (main) ore-preparative stage in interbedded tuffaceous silty sandstones and siltstones (Peschernoe deposit, Borehole 189, commercial-grade intervals are exposed below, at 263–265 m and 271.5–277.0 m):

it is evident that the distribution and intensity of brown-sparization (rock lightening degree) are different and uneven along differently oriented cracks and is variable depending on the lithology; the lightened areas are “beresites-2”, the boundary of the fracturing and beresitization zone is sharp (in the two upper “columns” of the core, brown-sparization of the 2nd stage is almost not manifested). In the brown-sparized interval, As (0.001–0.002 %) and Ag (up to 0.4 g/t) “appear” in anomalous contents; Au is not detected due to the low analysis sensitivity (detection threshold = 0.1 g/t). Here and after, photos of the core are by JSC ZSU

Метасоматический характер процесса подчёркивается как характером границ «полнопроявленных» «березитов-2» с вмещающими породами (они в той или иной степени не резкие; см. рис. 4–6 и рис. 8–10), так и «постепенностью» преобразований – часто наблюда-

емыми в «березитах-2» «теневыми» слоистыми текстурами (см. рис. 4, 6) или реликтами не «переработанных» темноцветных минералов (см. рис. 9). В то же время отмечаются достаточно резкие границы «тел» (локальных зон) «березитов-2», что подчёркивает их кон-



Рис. 5. Интенсивное проявление железо-магнезиальной карбонатизации (бурошпатизации) второго (основного) рудноподготовительного этапа в переслаивающихся туфоалевропесчаниках и туфоалевролитах: месторождение Пещерное, скв. 147, непромышленный интервал (промышленный интервал 109,9–112,0 м):

осветлённые участки – «березиты-2»; содержания As 0,002–0,003 %, Ag 0,1–0,19 г/т, Au – ниже ПО

Fig. 5. Intensive manifestation of ferromagnesian carbonatization (brown-sparization) of the second (main) ore-preparative stage in interbedded tuffaceous silty sandstones and siltstones: Peshchernoe deposit, Borehole 147, non-commercial interval (commercial-grade interval, 109.9–112.0 m):

the lightened areas are “beresites-2”; the contents of As, 0.002–0.003 %, Ag, 0.1–0.19 g/t, Au, below the threshold

троль разрывными структурами и преобладание гидротермальной составляющей процесса (см. рис. 4, 5, 8, 9).

В «полнопроявленных» березитах (цвет их от светло-серого до белого) главными минералами являются метасоматические кварц и анкерит в сопоставимом количестве (см. рис. 7). В подчинённом количестве в сложении метасоматического агрегата принимают участие альбит и серицит. Анкерит в метасоматитах образует либо изометричные метакристаллы, либо их агрегаты сложных форм. Кварц обычно встречается в виде изометричных зёрен, альбит – слагает мелкие таблитчатые или призматические кристаллы, серицит образует неравномерно распределённые спутанно-че-

шуйчатые агрегаты. Пирит довольно широко распространён, встречается обычно в виде кубических метакристаллов, реже в виде пентагон-додекаэдров. Содержание пирита в некоторых фрагментах метасоматически преобразованных пород может достигать 5 %. Распределение пирита в объёме березита обычно неравномерное (см. рис. 7).

Согласно аналитическим данным по месторождению Пещерное, «березиты-2» в локальных зонах (вне рудных интервалов) отчётливо обогащены серебром (более 0,1 г/т до 1,0 г/т) и мышьяком (более 0,001–0,002 %, до 0,01 %) на фоне не аномальных неизменённых вмещающих пород. Как уже отмечалось, в связи с низким пределом обнаружения спектраль-

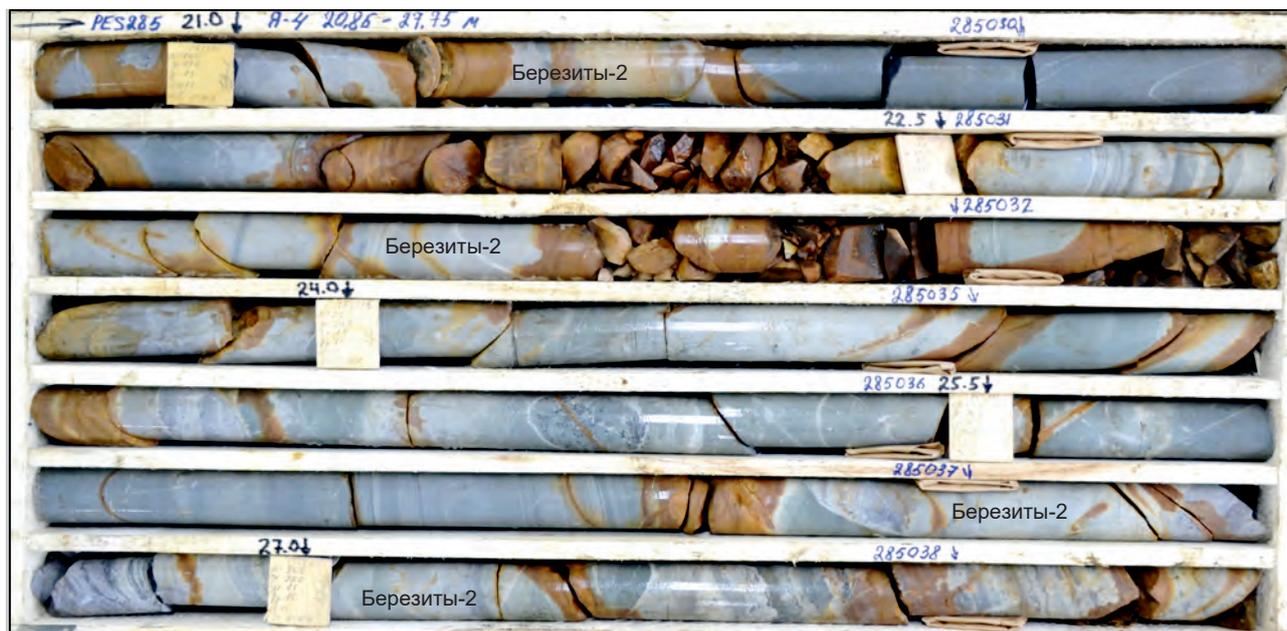


Рис. 6. «Проявление» бурошпатизации второго этапа в приповерхностных условиях за счёт окисления и лимонитизации («бурения») анкерита вблизи водопроницаемых трещин в переслаивающихся туфоалевропесчаниках и туфоалевролитах (месторождение Пещерное, скв. 285, без промышленного интервала):

содержания As 0,001–0,002 %, Ag 0,07–0,09 г/т, Au – ниже ПО

Fig. 6. “Manifestation” of brown-sparization of the second stage in the near-surface setting due to oxidation and limonitization (“browning”) of ankerite near water-permeable cracks in interbedded tuffaceous silty sandstones and siltstones (Peschernoe deposit, Borehole 285, no commercial-grade interval):

As content 0.001–0.002 %, with Ag 0.07–0.09 g/t; Au – below the threshold

ных и пробирных анализов золота (0,1 г/т) при проведении массовых аналитических работ аномальность «березитов-2» по золоту не фиксируется. Это объясняется тем (как уже отмечалось выше), что содержания золота в рудоконтролирующих зонах бурошпатизации, по аналогии с другими золотоносными регионами, должны составлять сотые доли г/т (наряду с аномальными содержаниями мышьяка) и, соответственно, чувствительность анализов на золото для подтверждения аномальности «березитов-2» по золоту должна быть выше [3, 4]. Приведённые данные свидетельствуют о том, что процесс формирования зон «березитов-2» является рудноподготовительным, как и «бурошпатизация-1», но основным: рудные зоны в последующем формируются только в их пределах при проявле-

нии разломных и гидротермально-метасоматических процессов рудного этапа.

На рис. 4–6 и 8–10 в керне скважин наглядно видна неравномерность проявления (интенсивности) березитизации в объёме пород. Так, «полнопроявленные» березиты в керне скважин слагают участки (зоны), стволовая мощность которых может достигать нескольких метров – нескольких десятков метров. Обычно они «окружены» с лежачего и висячего боков участками, в которых полнопроявленные березиты образуют прожилковидные и иной формы тела в неизменённых или относительно неизменённых вмещающих породах, причём «степень березитизации» (объём березитов относительно вмещающих пород) может быть самой различной. Для иллюстрации этого нами по фотодокументации скважин на

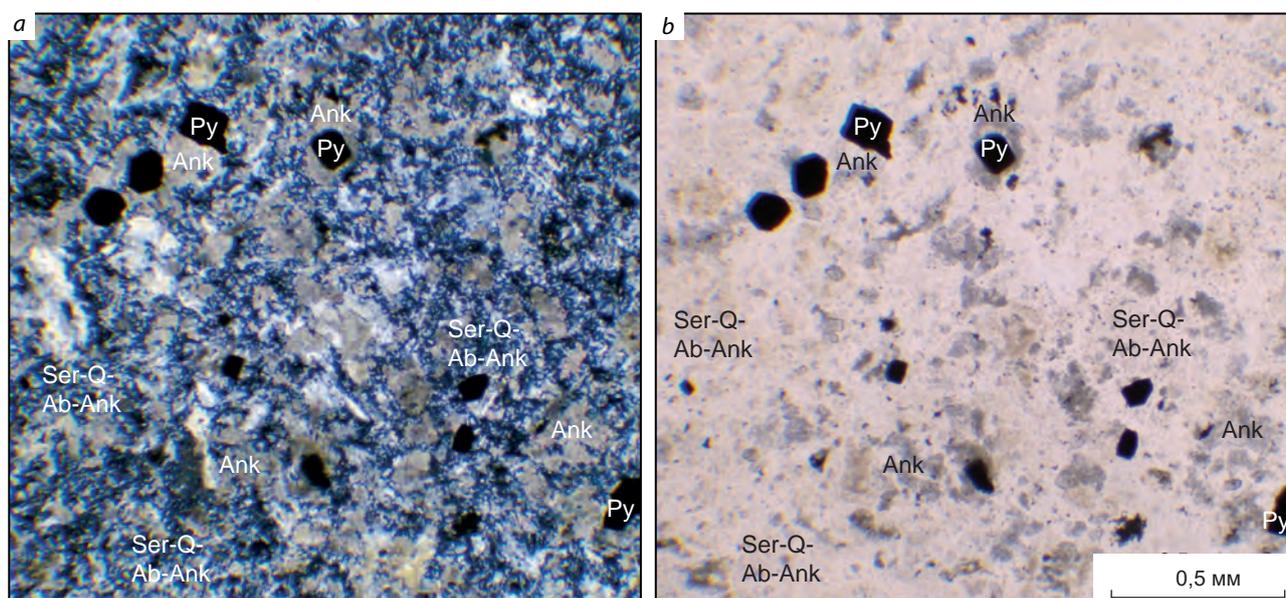


Рис. 7. Пирит-серицит-кварц-альбит-анкеритовый метасоматит («березит-2») (месторождение Пещерное, скв. 414, 103 м):

Py – пирит, Ser – серицит, Q – кварц, Ab – альбит, Ank – анкерит; фото шлифа: *a* – николи +, *b* – николи II. Фото А. И. Иванова

Fig. 7. Pyrite-sericite-quartz-albite-ankerite metasomatite ("beresite-2") (Peschernoe deposit, Borehole 414, 103 m):

Py – pyrite, Ser – sericite, Q – quartz, Ab – albite, Ank – ankerite; plate photo: *a* – nicols +, *b* – nicols II. Photo by A. I. Ivanov

профиле 3603 месторождения Пещерное метасоматически преобразованные породы разделены на три группы по интенсивности процесса: 80–100 %, 50–80 % и 20–50 % объёма «березитов-2» от объёма породы (рис. 11). На рисунке видно, что в целом процесс березитизации проявлен в зоне мощностью более 350 м, которая представляет собой золотоносную минерализованную зону. Такие минерализованные зоны в других золотоносных районах [4] представляют собой рудоконтролирующие структуры, в пределах которых при проявлении гидротермально-метасоматических процессов третьего этапа и формировались рудные зоны. На месторождении Пещерное отмечается тенденция к возрастанию мощности локальных зон «березитов-2» и интенсивности березитизации в их пределах к нижней части (лежащему боку) общей рудоконтролирующей зоны.

В карьере месторождения Пещерное (рис. 12) наглядно видно сложное строение минерализованной зоны – локальные зоны полнопроявленных березитов второго этапа («березиты-2») выделяются либо бурым цветом (в зоне окисления), либо светло-серым на фоне туфогенной толщи серого и тёмно-серого цвета. Главная рудная зона характеризуется относительно большой мощностью «березитов-2» и субвертикальным залеганием, а большинство других зон «полнопроявленных» березитов ориентированы косо к ней по падению – то есть являются опережающими при проявлении взбросо-сбросовых деформаций. Лишь отдельные (сближенные с Главной рудной зоной) зоны «полнопроявленных» березитов иногда ей субпараллельны.

Интересным является факт локализации Главной рудной зоны в ядерной части антиклинальной складки (на рис. 12 показано за-

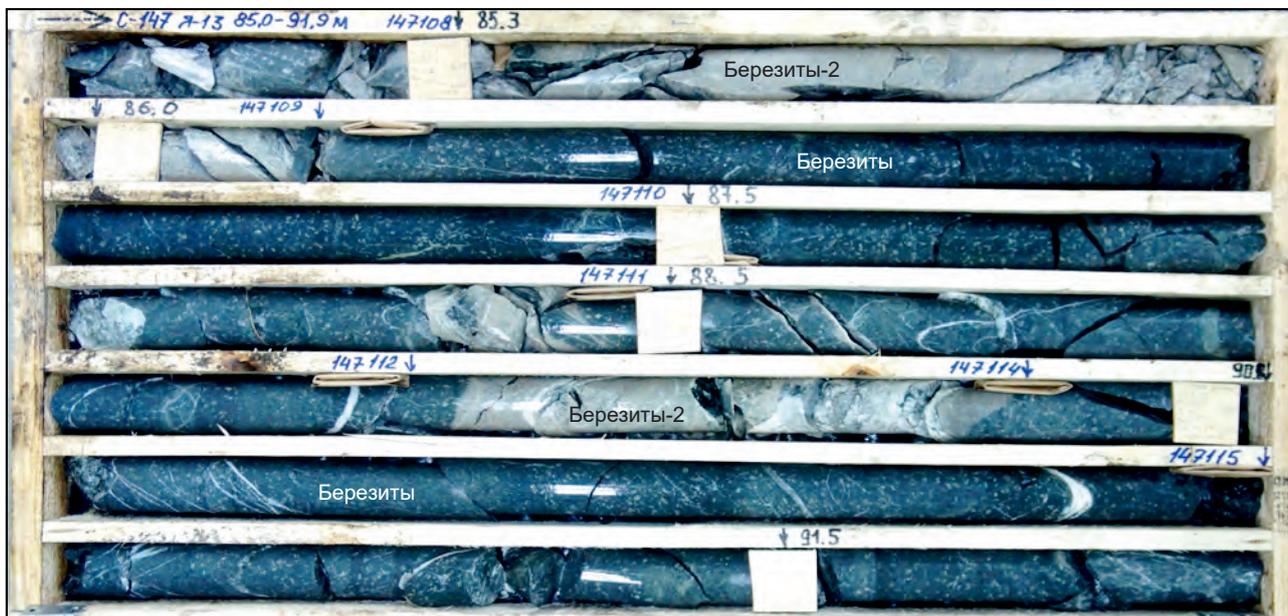


Рис. 8. Характер бурошпатизации второго этапа в базальтах: месторождение Пещерное, скв. 147, непромышленный интервал (промышленный интервал 109,9–112,0 м):

в «березитах-2» аномальные содержания As 0,001 % и Ag до 0,20 г/т, Au – ниже ПО

Fig. 8. The character of brown-sparization of the second stage in basalts: Peshchernoe deposit, Borehole 147, non-commercial interval (commercial-grade interval, 109.9–112.0 m):

in “beresites-2”, anomalous contents of As, 0.001 % and Ag, up to 0.20 g/t; Au, below threshold

легание слоистости), что позволяет предполагать определённую унаследованность процесса формирования минерализованной зоны («березитов-2»), а затем и рудной зоны в её пределах относительно линейного складкообразования.

Этап III проявления гидротермально-метасоматических березитоидных процессов в пределах всех рассматриваемых участков является рудным этапом: в это время сформировались рудные зоны в пределах ранее образованных золотоносных зон «березитов-2» при активизации рудоконтролирующих разломов (зон рассланцевания и дробления). Он проявился более локально, чем второй этап, – на месторождении Пещерное только в некоторых локальных зонах «березитов-2», в основном в нижней части (к лежащему боку) рудоконтролирующей минерализованной зоны

березитизации второго этапа, где располагаются главный разломный шов и ближние к нему субпараллельные зоны субвертикальной ориентировки. А «вышележащие» зоны «березитов-2», так как сформировались преимущественно в оперяющих зонах рассланцевания и дробления, в рудный этап активизировались слабо (см. рис. 12).

Рудные зоны на месторождениях Пещерное, Горнячка, Андрей (рис. 13–16) формируются в «березитах-2» при наложении на них интенсивного рассланцевания, дробления и прожилкования – анкеритового, кварцевого, анкерит-кварцевого и альбит-анкерит-кварцевого, а также сульфидизации (пирит, арсенопирит). Вмещающие прожилковую минерализацию «березиты-2» рассланцованы, интенсивно проявлена серицитизация по поверхностям рассланцевания. Пирит, присут-



Рис. 9. Характер березитизации 2-го этапа диоритов 2-й фазы ауэрбаховского комплекса:

a – месторождение Пещерное, скв. 283 (рудного интервала нет), содержания As 0,001–0,005 % (до 0,02 % в пр. 115), Ag до 0,18–0,71 г/т (пр. 115), Au – ниже ПО (кроме пр. 115 – 0,6 г/т); *b* – месторождение Горнячка, скв. 31001, видны не «переработанные» темноцветные минералы

Fig. 9. The character of beresitization of the 2nd stage in diorites of the 2nd phase of the Auerbakh Suite:

a – Peshchernoe deposit, Borehole 283 (ore-grade intervals are absent); the contents of As, 0.001–0.005 % (up to 0.02 % in Sample 115) and Ag, up to 0.18–0.71 g/t (Sample 115); Au, below threshold (except for Sample 115, 0.6 g/t); *b* – Gornychka deposit, Borehole 31001: visible are “unprocessed” dark-colored minerals

ствующий в значительных количествах в пределах рудных зон, имеет пентагон-додэкаэдрический и кубический габитус. Для вкрапленного арсенопирита характерны сложные формы выделений. Рудные зоны обычно формируются не во всём объёме локальных зон «березитов-2», а только в тех их частях, где проявились интенсивные наложенные процессы рудного (третьего) этапа. Это видно на рис. 13: «березиты-2» в верхней части kernового ящика, где содержания золота (пробирный анализ) в kernовых пробах низкие, относительно слабо деформированы (даже сохраняются реликты слоистости в переслаивающихся туфопесчаниках и туфоалевролитах). В рудном же интервале (нижняя часть ящика) интенсивно проявлены процессы рассланце-

вания, дробления, прожилкования, сульфидизации.

Аналогичным образом в целом выглядят рудные зоны как в переслаивающихся туфопесчаниках и туфоалевролитах (см. рис. 14), так и в диоритах второй фазы ауэрбаховского комплекса (см. рис. 15) на месторождении Горнячка. На месторождении Андрей, где «березиты-2» формировались в том числе по ультраосновным породам, рудные интервалы характеризуются относительно более интенсивным рассланцеванием «березитов-2» (см. рис. 16).

Петрографический состав пород в рудных зонах на всех этих объектах однотипный – это серицит-кварц-альбит-анкеритовые метасоматиты с анкеритовым и кварц-анкерито-

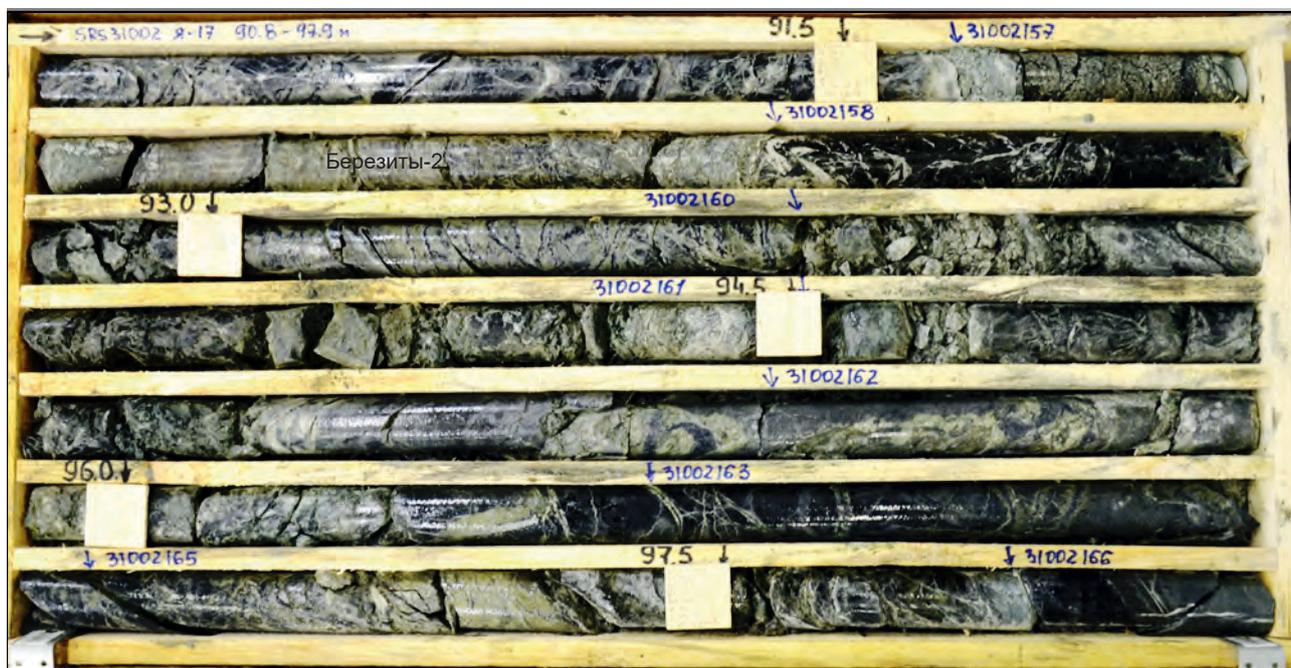


Рис. 10. Характер березитизации 2-го этапа по ультраосновным породам (березиты–листвениты) на месторождении Андрей Северный, скв. 31002, нерудный интервал

Fig. 10. The character brown-sparization of the 2nd stage in ultramafic rocks (beresites-listvenites) at the Andrey Northern deposit, Borehole 31002, barren interval

вым прожилкованием и вкрапленной и (или) прожилково-вкрапленной сульфидизацией, иногда с реликтами «первичных» «березитов-2» (рис. 17). В целом при формировании рудных зон количество анкерита в породах, в основном за счёт формирования прожилков, значительно увеличивается. Этот факт (формирование анкеритовых и кварц-анкеритовых прожилков в рудный этап с увеличением общего количества железо-магнезиальных карбонатов в рудах) также свидетельствует об определённом сходстве рудообразующих процессов полихронного и полигенного золотого оруденения ТАРР с таковым Байкало-Патомской, Енисейской и Верхояно-Колымской металлогенических провинций [3–5].

Процессы березитоидного типа на Воронцовском месторождении. Воронцовское месторождение изучалось многими исследователями, каждый из которых предлагал свою трактовку последовательности его формирования.

Так, В. Н. Сазонов [15, 16] отрицает непосредственную связь золотого оруденения Воронцовского месторождения и сопряжённых с ним метасоматитов кварц-серицитовой формации с известными в районе интрузивными образованиями и соотносит их с глубинными недифференцированными рудоносными флюидами или с рудоносными флюидами-растворами. Он выделяет послемагматические метасоматические образования рудного узла трёх стадий: ранней щелочной (формации контактовых роговиков, автометасоматитов и известковых скарнов приконтактового метасоматоза, волластонитовых и калишпатовых метасоматитов разломного метасоматоза), кислотной (пропилиты площадного метасоматоза с золото(?)-пиритовым оруденением, березит-лиственитовой с золото-сульфидно-кварцевым оруденением, кварц-серицитовой с золото-арсенопирит-реальгаровым оруденением, джаспероидной с золото-полиметаллическим

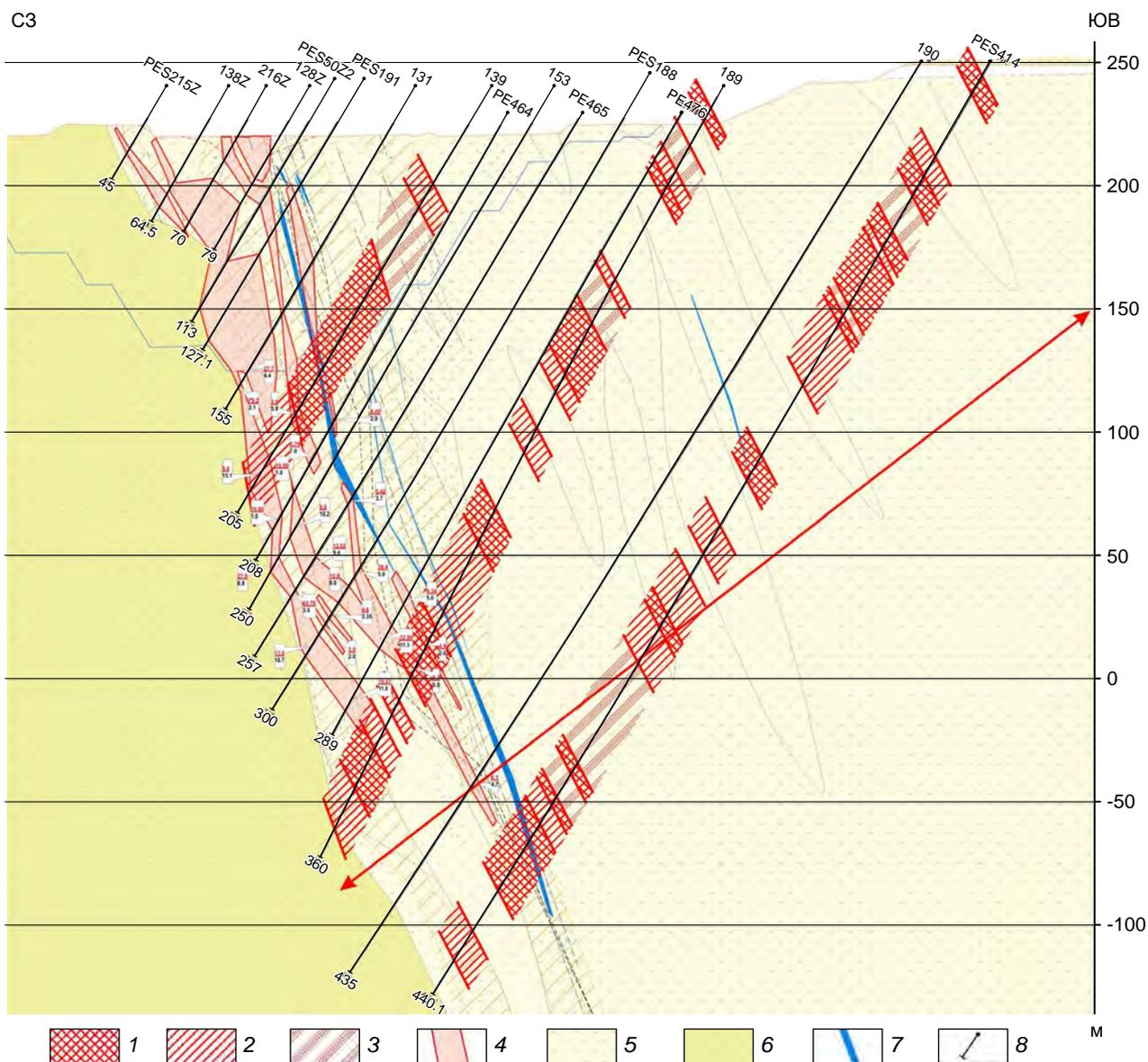


Рис. 11. Расположение в минерализованной зоне (красная стрелка) участков керна с проявлением бурошпатизации 2-го этапа («березиты-2») (выделены А. И. Ивановым по фотодокументации скважин на профиле 3603 месторождения Пещерное):

участки березитизации различной интенсивности: 1 – сильной (80–100 %), 2 – средней (50–80 %), 3 – слабой (20–50 %); 4 – промышленные золоторудные тела; 5 – вулканогенно-осадочные породы; 6 – базальты; 7 – кварцевые жилы; 8 – буровые скважины

Fig. 11. Position of drill core sections with manifestation of brown-sparization of the 2nd stage ("beresites-2") in the mineralized zone (red arrow) (highlighted by A. I. Ivanov based on photo documentation of boreholes on Profile 3603 of the Peshchernoje deposit):

sections of the beresitization of varying intensity: 1 – strong (80–100 %), 2 – medium (50–80 %), and 3 – weak (20–50 %); 4 – commercial-grade gold ore bodies; 5 – volcanosedimentary rocks; 6 – basalts; 7 – quartz veins; 8 – drill holes



Рис. 12. Строение минерализованной зоны месторождения Пещерное в карьере:

в Главной рудной зоне белым цветом у днища карьера выделяется пострудная кварцевая жила. Фото А. И. Иванова

Fig. 12. Structure of the mineralized zone of the Peshchernoe deposit in the openpit:

within the Main Ore Zone, the post-ore quartz vein is stand out in white near the openpit bottom. Photo by A. I. Ivanov

оруденением околотрещинного метасоматоза) и поздней щелочной кварц-кальцит-хлоритовых метасоматитов с полиметаллической (золотоносной) минерализацией. Аналогичной позиции придерживался Л. Н. Овчинников [13].

В. Н. Бобров [1] кроме гидротермально-метасоматических процессов выделяет этап регионального метаморфизма пренил-пумпеллитовой фации (зеленокаменную стадию), предшествующий гидротермальной стадии (калишпатизация, березитовая и кварцево-жильная метасоматические фации с золото-сульфидным, золото-сульфидно-кварцевым и золото-полиметаллическим оруденением). К завершающей низкотемпературной (посленадвиговой) аргиллизитовой стадии с золото-мышьяково-ртутным оруденением он относит образование джаспероидов и хлорит-кальцит-кварц-серицитовых метасоматитов внутренней (рудной) зоны месторождения и серицитизации, джасперидизации, в том числе с образованием низкотемпературного кварца, доломита и анкерита в известняках во внешней (околорудной) зоне.

А. А. Черемисин [17], выделил три этапа: дорудный, рудный и послерудный (экзогенное

корообразование). К первому им отнесено формирование роговиков, скарнов, пропицитов, кварц-кальцит-хлоритовых метасоматитов. В рудный этап проявились гидротермально-метасоматические процессы березит-лиственитовой формации, с которыми связано золото-кварцевое и золото-сульфидно-кварцевое жильное оруденение. С гидрослюдисто-аргиллизитовой группой формаций он связывает: в карбонатных породах – площадную карбонатизацию (доломит-анкеритовую – рис. 18), дезинтеграцию мрамора, образование кварц-гидрослюдистых (серицитовых) метасоматитов и кварц-карбонат (без расшифровки состава?)-хлорит-гидрослюдистых с вкрапленной золото-арсенипирит-антимонитовой с реальгаром и киноварью минерализацией.

В. В. Мурзин с соавторами [9–11] относит Воронцовское месторождение к карлинскому типу и выделяет три этапа в формировании месторождения: 1-й – седиментационное обогащение осадочных или эффузивно-осадочных толщ золотом; 2-й – преобразование обогащённых золотом толщ в термальном ореоле интрузии с формированием рудообразующего флюида; 3-й – рудоотложение в структур-

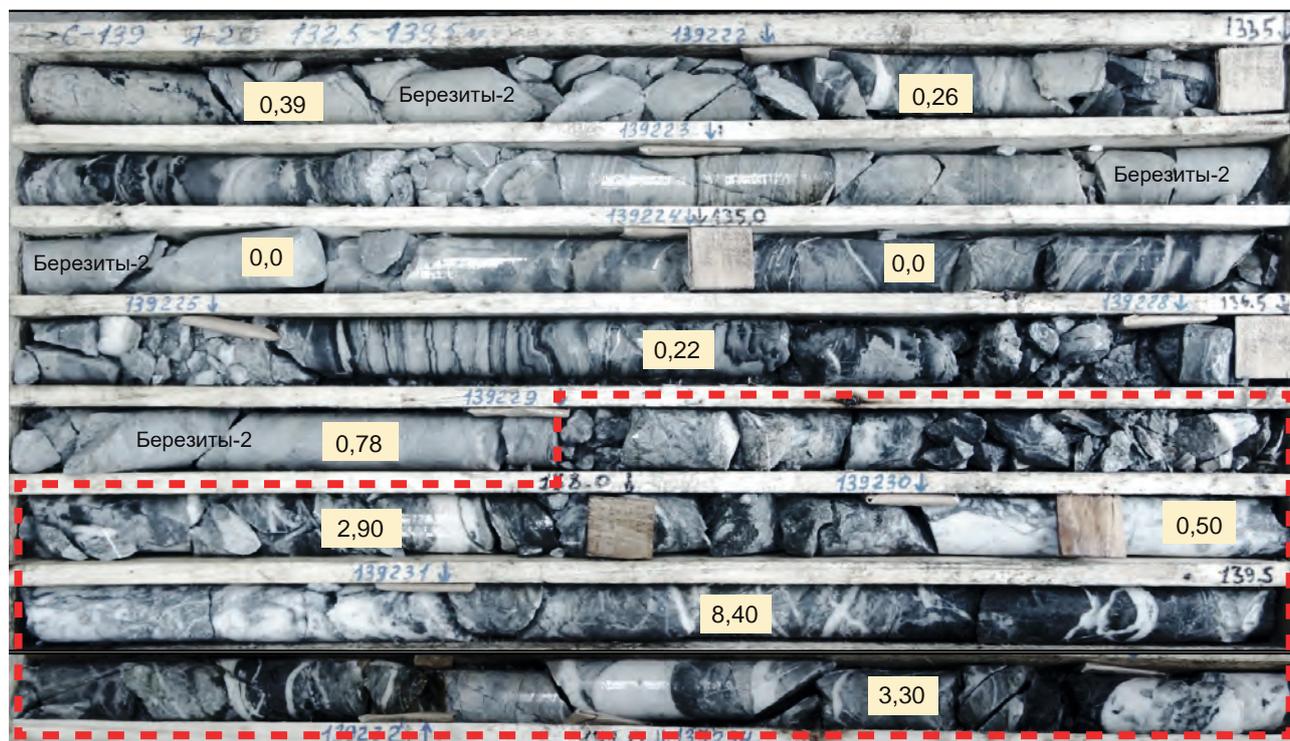


Рис. 13. Внутреннее строение рудной зоны (красный пунктир) месторождения Пещерное, скв. 139 в переслаивающихся туфопесчаниках и туфоалевролитах:

указаны содержания золота в г/т в керновых пробах. Видно, что в относительно слабо деформированных «березитах-2» (верхняя часть ящика) содержания золота низкие. Наиболее высокие содержания золота приурочены к участкам интенсивной деформации «березитов-2» (дробление, рассланцевание, прожилки разного состава и различной морфологии)

Fig. 13. Internal structure of the ore zone (red dashed line) of the Peshchernoe deposit, Borehole 139 in interbedded tuffaceous sandstones and siltstones:

indicated are gold contents in the core samples (in g/t). It is evident that in the relatively weakly deformed "beresites-2" (upper sections of the box), the gold contents are low. The highest gold contents are confined to zones of intense deformation of "beresites-2" (crushing, shearing, veinlets of various composition and morphology)

но-литологических ловушках. Аналогичная этапность рассмотрена и в работе И. В. Викентьева, В. В. Мурзина и др. [2].

О. В. Минина [7], связывающая образование Воронцовского месторождения со становлением Ауэрбаховской меднопорфировой гидротермальной системы, гидротермально-метасоматические процессы детально не рассматривала.

Таким образом, исключая некоторые различия, все исследователи Воронцовского месторождения (кроме О. В. Мининой) предполагают полигенность и полихронность ору-

денения, выделяют березит-лиственитовую стадию и связывают с ней золотое оруденение.

Важным представляется то, что А. А. Черемисин и В. Н. Бобров, непосредственно участвовавшие в разведочных работах на Воронцовском месторождении, в этап березитизации (и одновременной аргиллизации) установили проявление объёмной доломит-анкеритовой карбонатизации в известняках и мраморах (см. рис. 18).

Что же касается «туфогенной» части Воронцовского месторождения, то, несмотря на длительность его исследования, в производ-

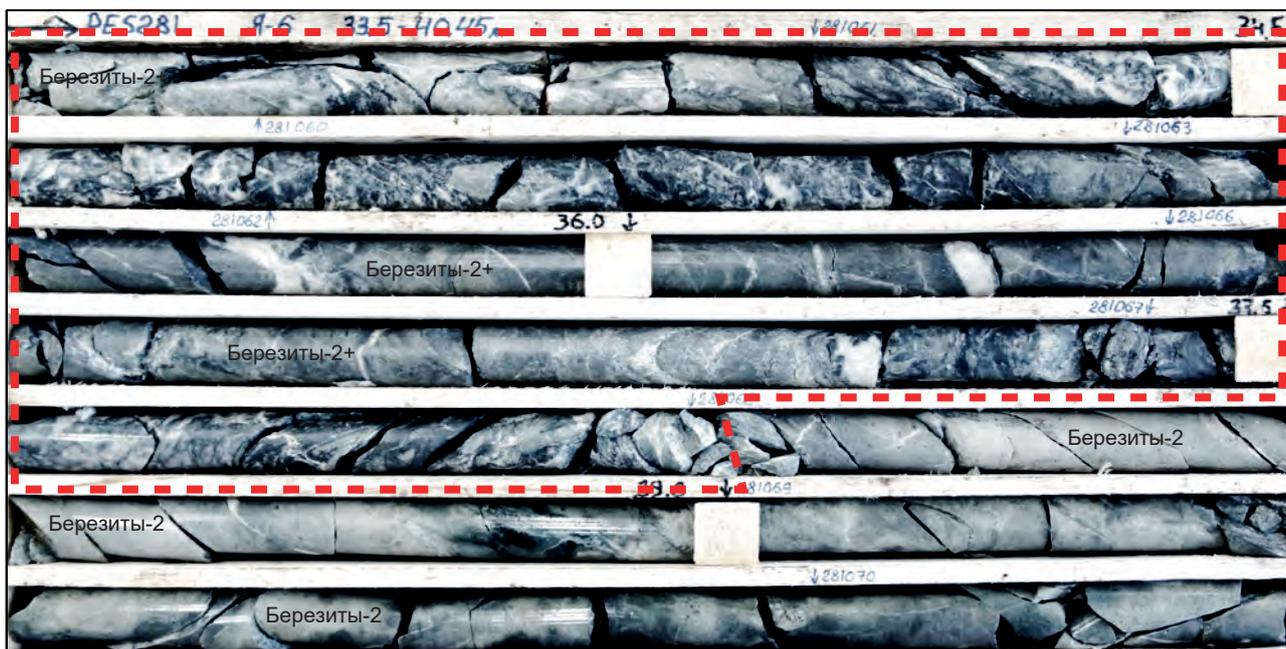


Рис. 14. Внутреннее строение рудной зоны (красный пунктир) месторождения Горнячка в переслаивающихся туфопесчаниках и туфоалевролитах:

в относительно слабо деформированных «березитах-2» (нижняя часть ящика) содержания золота низкие. Наиболее высокие содержания золота приурочены к участкам интенсивной деформации «березитов-2» (дробление, рассланцевание, прожилки и просечки разного состава и различной морфологии, сульфидизация прожилковая и по массе). Скв. 281, рудный интервал 32,5–38,0 мощностью 5,5 м и средними содержаниями золота 15,4 г/т

Fig. 14. Internal structure of the ore zone (red dashed line) of the Gornychka deposit in interbedded tuffaceous sandstones and siltstones:

in the relatively weakly deformed "beresites-2" (lower sections of the box), the gold content is low. The highest gold contents are confined to zones of intense deformation of "beresites-2" (crushing, shearing, veinlets and stringers of various composition and morphology, veinlet and pervasive sulfidization). Borehole 281, ore interval 32.5–38.0 m, 5.5 m thick, average gold content of 15.4 g/t

ственных отчётах и научных публикациях не встречено подробного описания проявленных в ней гидротермально-метасоматических процессов. Обычно отмечается проявление карбонатизации без расшифровки состава карбонатов. В то же время состав карбоната можно предполагать по вторичным минералам в зоне окисления пород. Так, в северном борту карьера (рис. 19) в коренных уступах виден выход вулканогенно-осадочных («туфогенных») отложений среди мраморов. На фото наглядно видно, что в неизменённых туфогенных отложениях, имеющих серый цвет, по

мере приближения к верхним частям карьера начинает появляться лимонитизация (бурый цвет) сначала на отдельных участках в зонах трещиноватости, по которым поступают грунтовые воды, а затем на всю мощность пачки. Такая лимонитизация при окислении свойственна только железо-магнезиальным карбонатам («проявление» их наличия см. на рис. 2, 6). При этом в коренных выходах отчётливо видна в верхних уступах карьера неравномерность лимонитизации в отдельных литологических разностях туфогенных пород. Избирательность в интенсивности её

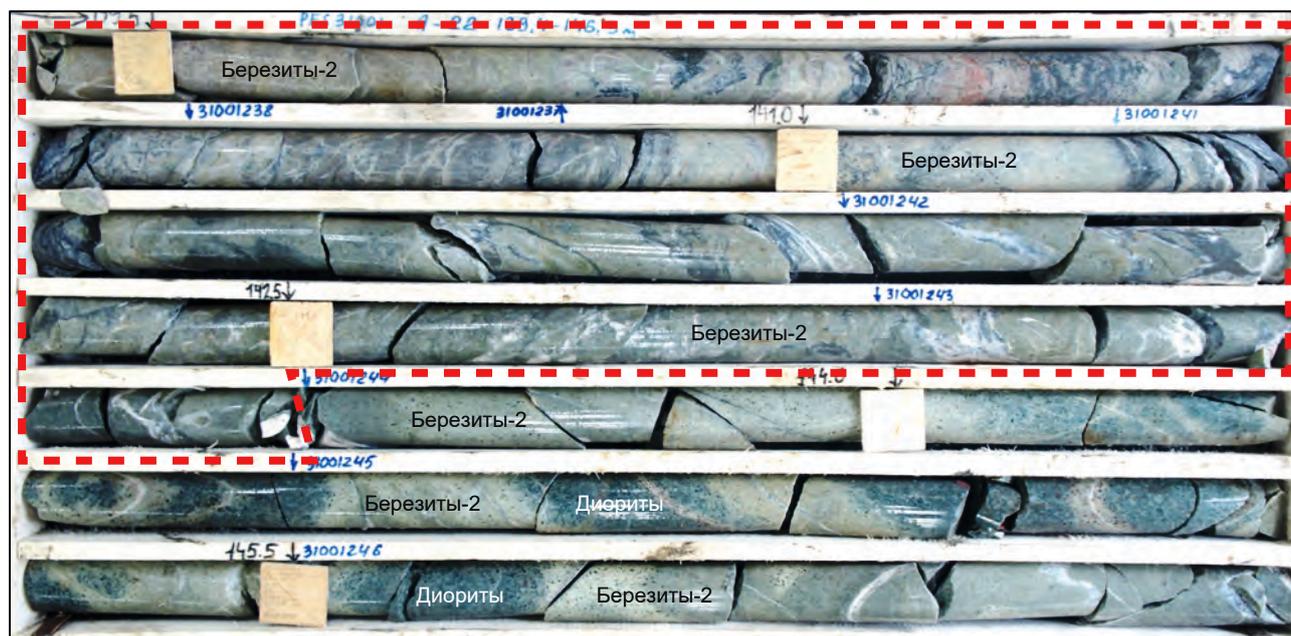


Рис. 15. Внутреннее строение рудной зоны (красный пунктир) месторождения Горнячка в «березитах-2» по диоритам второй фазы ауэрбаховского комплекса:

в относительно слабо деформированных «березитах-2» (нижняя часть ящика) содержания золота низкие. Наиболее высокие содержания золота приурочены к участкам интенсивной деформации «березитов-2» (дробление, рассланцевание, прожилки и просечки разного состава и различной морфологии, сульфидизация прожилковая и по массе). Скв. 31001, среднее содержание золота в рудном интервале – 2,3 г/т

Fig. 15. Internal structure of the ore zone (red dashed line) of the Gornychka deposit in "beresites-2" after diorites of the second phase of the Auerbakh Suite:

in the relatively weakly deformed "beresites-2" (lower sections of the box), the gold content is low. The highest gold contents are confined to zones of intense deformation of "beresites-2" (crushing, shearing, veinlets and stringers of various composition and morphology, veinlet and pervasive sulfidization). Borehole 31001, average gold content in the ore interval is 2.3 g/t

проявления в подобных породах в зависимости от литологического состава описана выше на участках Пещерный, Горнячка, Андрей и, как представляется, выражена и в данном случае. Из этого следует, что лимонитизация в приповерхностных условиях в туфогенной толще связана в основном с окислением железо-магнезиальных карбонатов (анкерита).

Лимонитизация анкерита проявлена и в известняках и мраморах в зоне окисления (см. рис. 19): в участках с проявлением интенсивной трещиноватости (участки повышенной водопроницаемости) они лимонитизированы. Также отчётливо анкеритизация известняков

и мраморов по характеру их окисления выявляется в зоне Воронцовского разлома (рис. 20, а) – в результате циркуляции трещинных вод по нему происходит лимонитизация анкерита и породы приобретают бурый цвет. Изучение образцов мраморов из ядра коллекции ЦНИГРИ по Воронцовскому месторождению в сканирующем электронном микроскопе (аналитик С. Г. Кряжев) позволило установить сложно-порфиروبластический характер анкеритизации (см. рис. 20, б), причём количество анкерита в объёме породы весьма велико и составляет не менее 25–30 %. Эти факты подтверждают данные А. А. Черемисина и

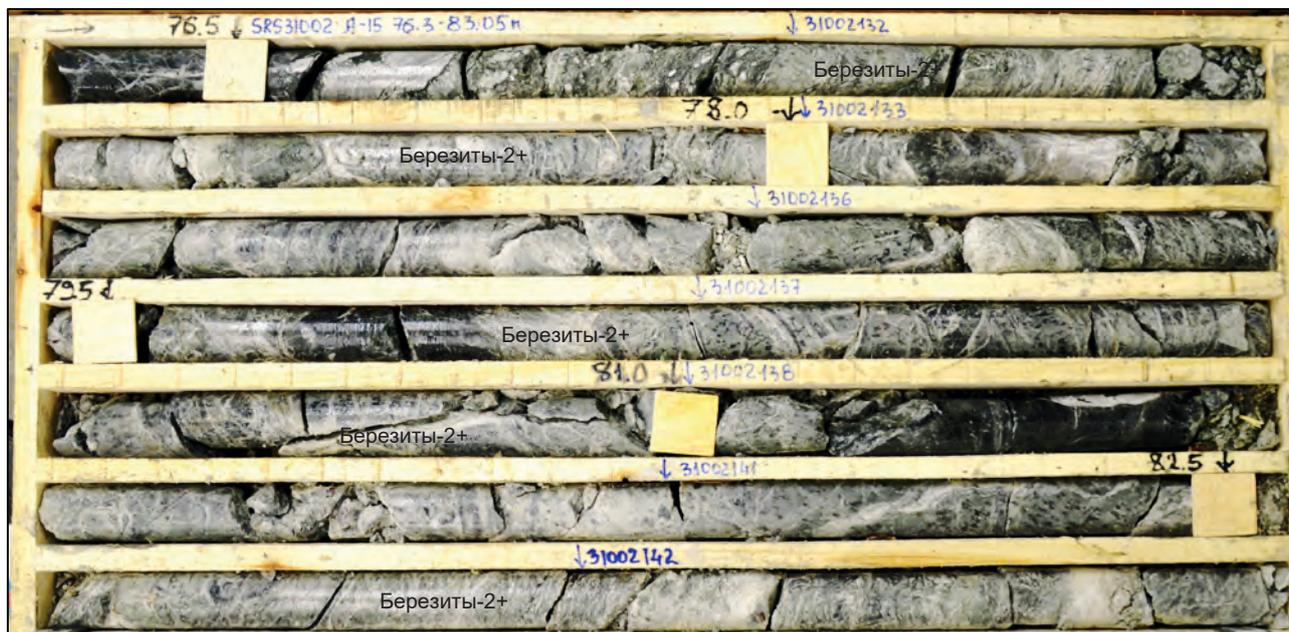


Рис. 16. Внутреннее строение рудной зоны месторождения Андрей Северный в «березитах-2» по ультраосновным породам:

в рудной зоне «березиты-2» интенсивно деформированы (рассланцевание, дробление, прожилки и просечки разного состава и различной морфологии, сульфидизация прожилковая и по массе). Скв. 31002, мощность рудного интервала 8,5 м, среднее содержание золота – 1,3 г/т

Fig. 16. Internal structure of the ore zone of the Andrey Northern deposit in "beresites-2" after ultramafic rocks:

in the ore zone, "beresites-2" are intensively deformed (shearing, crushing, veinlets and stringers of various composition and morphology, veinlet and pervasive sulfidization). Borehole 31002, ore interval thickness is 8.5 m, average gold content is 1.3 g/t

В. Н. Боброва о проявлении анкеритизации в известняках и мраморах.

Таким образом, можно констатировать, что на Воронцовском месторождении, как и на других золоторудных объектах в ТАРР, проявились березитоидные рудноподготовительные процессы. По их характеру (относительная «равномерность») можно предполагать аналогию с «бурошпатизацией-1» на других описанных выше золоторудных объектах ТАРР. Что касается проявления березитизации второго этапа на Воронцовском месторождении, то этот вопрос требует дополнительного исследования.

Приведённые материалы по месторождению Воронцовское свидетельствуют о прин-

ципальной схожести березитоидных золотоносных гидротермально-метасоматических процессов на всех золоторудных объектах ТАРР и их близости с таковыми на многих золоторудных месторождениях в других районах [3–5].

Закключение. Анализ геологического строения ТАРР, поисковых признаков золотого оруденения и др. материалов позволил в качестве главных рудоконтролирующих разломных структур выделить зоны складчато-разрывных деформаций (ЗСРД), являющиеся зонами «динамического влияния» глубинных разломов – Коноваловского (Главного Уральского разлома) и оперяющего его Краснотурьинского (см. рис. 1).

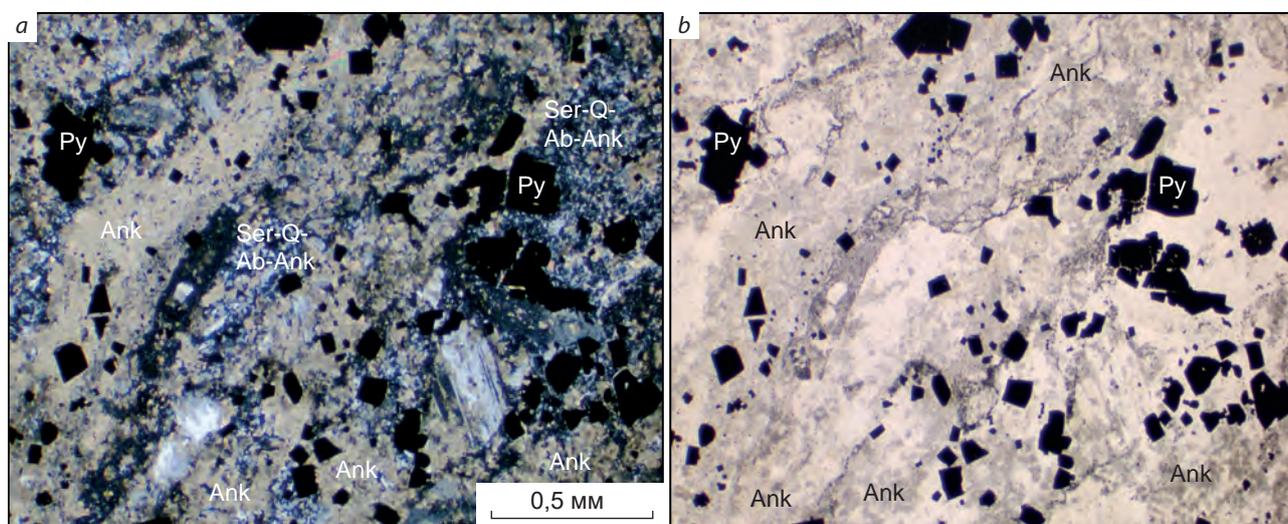


Рис. 17. Преобразование «березита-2» серицит-кварц-альбит-анкеритового состава при расланцевании, дроблении, сульфидизации, анкеритовом и кварц-анкеритовом прожилковании в рудный этап. Месторождение Пещерное, скв. 414, 378 м. Фото шлифа А. И. Иванова; *a* – николи +, *b* – николи II:

усл. обозн. см. на рис. 7

Fig. 17. Transformation of "berezite-2" of sericite-quartz-albite-ankerite composition caused by the shearing, crushing, sulfidization, and ankerite and quartz-ankerite veining during the ore stage. Peshchernoie deposit; Bore-hole 414, 378 m; Photo of thin sections by A. I. Ivanov; *a* – nicols +, *b* – nicols II:

for legend see Fig. 7

Подобные ЗСРД во многих золотоносных регионах с полигенным и полихронным золотым оруденением являются основными рудоконтролирующими структурами [3, 4, 12, 18 и др.]. Эти структуры – зоны долгоживущих глубинных разломов, заложившихся в седиментогенную эпоху и активизировавшихся при последующих деформационных, метаморфических и магматических процессах. При активизации глубинных разломов в седиментогенную эпоху и подтоке рудоносных флюидов в бассейн осадконакопления могло происходить первичное обогащение осадочных и осадочно-вулканогенных пород золотом и элементами-спутниками при седиментации. Новая активизация глубинных разломов при складчатых деформациях привела к формированию ЗСРД, в пределах которых происходила золотоносная (с мышьяком) железо-магнезиальная карбонатизация (буропатизация-1) первого этапа, представляю-

щая собой результат С-флюидного метасоматоза (по Ф. А. Летникову [6]) в зонах глубинных корово-мантийных разломов. Буропатизация сопровождалась мусковитизацией и сульфидизацией, что в целом соответствует березитоидному процессу, который и являлся рудноподготовительным.

Именно в пределах ЗСРД при дальнейших преобразованиях золотоносных (с мышьяком) буропатизированных пород при гранитоидном магматизме происходила их гидротермально-метасоматическая переработка с формированием золоторудных тел [3–5].

Работами АО «ЗСУ» все месторождения и рудопроявления, кроме Воронцовского (расположено в Краснотурьинской ЗСРД), выявлены в зоне Коноваловского глубинного разлома (ЗСРД). Главной особенностью всех этих объектов является однотипная СВ ориентировка (азимут простирания 30–45°) рудных зон, не совпадающая с простиранием рудо-

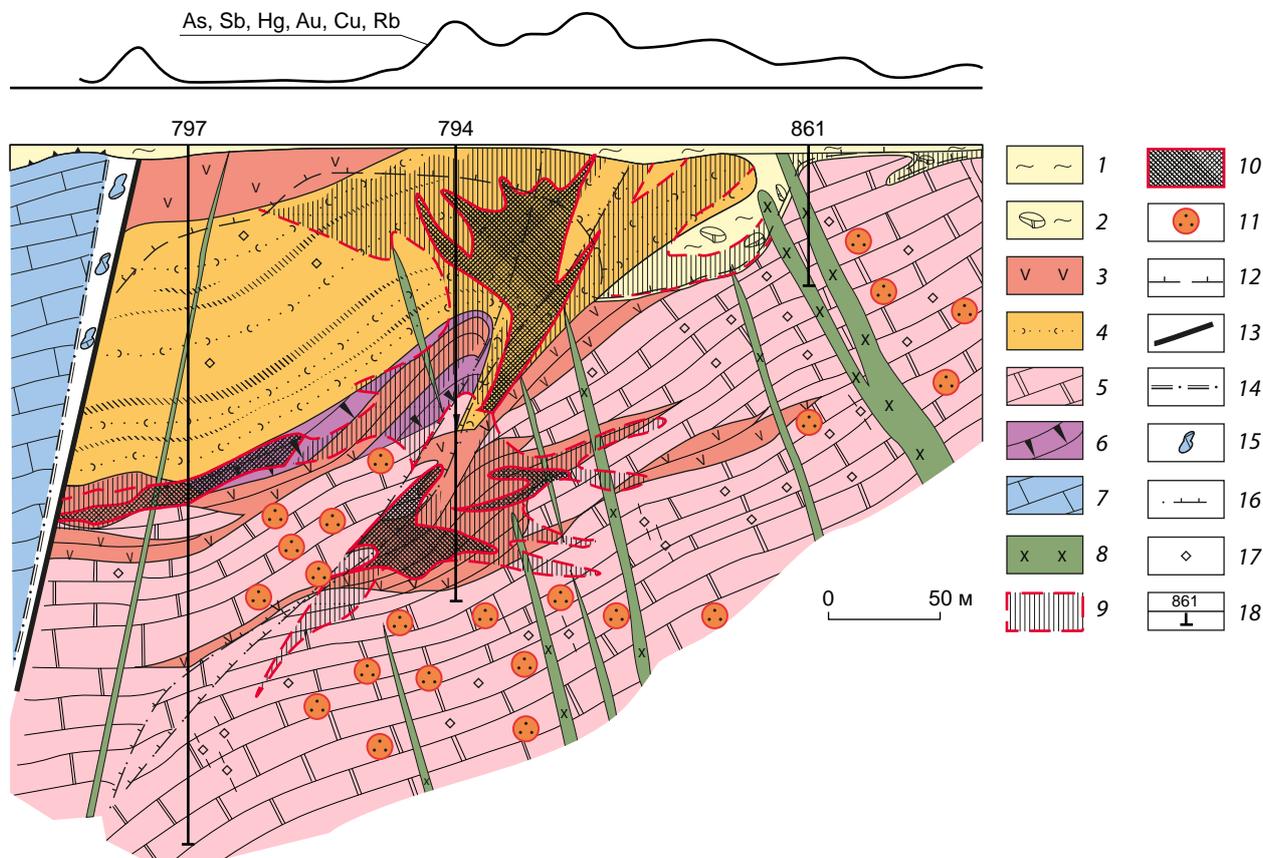


Рис. 18. Геологический разрез по профилю 48, месторождение Воронцовское (А. А. Черемисин и др., 1997, с упрощениями):

1 – аллювиальные и пролювиальные отложения; 2 – карстовые отложения; 3 – андезитовые порфириды, их туфы и лавобрекчии (богословская толща); 4 – вулканогенно-осадочные породы (башмаковская толща) – туфоалевролиты, туфопесчаники, туфоконгломераты; 5 – мрамор; 6 – карбонатная осадочная брекчия с цементом более 10 %; 7 – известняк; 8 – дайки диоритовых порфиритов; 9 – рудные тела; 10 – рудные столбы; 11 – мрамор с сахаровидной структурой (анкерит-доломитовая карбонатизация); 12 – граница коры химического выветривания; 13 – разлом, ограничивающий рудовмещающий блок; 14 – граница тектонического брекчирования; 15 – тектонические брекчии по известнякам; 16 – синрудные надвиги; 17 – метасоматическая и прожилковая сульфидная (пиритовая) минерализация; 18 – скважины

Fig. 18. Geological cross-section along Profile 48, Vorontsovskoe deposit (simplified after Cheremisin et al., 1997):

1 – alluvial and proluvial deposits; 2 – karst deposits; 3 – andesite porphyrites, their tuffs and lava breccias (Bogoslovsky Sequence); 4 – volcanosedimentary rocks (Bashmakovsk Sequence): tuffaceous siltstones, sandstones, and conglomerates; 5 – marble; 6 – carbonate sedimentary breccia with cement over 10 %; 7 – limestone; 8 – diorite porphyrite dikes; 9 – ore bodies; 10 – ore shoots; 11 – marble with a sugar-like texture (ankerite-dolomite carbonatization); 12 – boundary of the chemical weathering crust; 13 – fault limiting the ore-bearing block; 14 – boundary of tectonic brecciation zone; 15 – tectonic breccias upon limestones; 16 – syn-mineralization thrusts; 17 – metasomatic and veinlet type sulfide (pyrite) mineralization; 18 – boreholes



Рис. 19. Вид на северную часть карьера месторождения Воронцовское:

светлые породы – неокисленные известняки, серые – неокисленные туфогенные отложения, бурые – лимонитизированные за счёт окисления в приповерхностных условиях железомagneзиальных карбонатов (анкерита?) туфогенные породы и мраморы. Видны начальная стадия окисления туфогенных пород на третьем сверху уступе (началось «побурение») и сильная степень окисления на верхних уступах. Фото А. И. Иванова

Fig. 19. View of the northern part of the Vorontsovskoe deposit openpit:

light-colored rocks are non-oxidized limestones; gray rocks are non-oxidized tuffaceous deposits; brown rocks are tuffaceous rocks and marble, limonitized due to oxidation of ferromagnesian carbonates (ankerite?) under near-surface conditions. Visible are an initial stage of the oxidation of the tuffaceous rocks on the third bench from the top (the "browning" has begun) and a strong degree of the oxidation on the upper benches. Photo by A. I. Ivanov

контролирующей структуры. Этот факт может быть объяснён проявлением сдвиговых деформаций по Коноваловскому разлому в этап, предшествующий формированию «березитов-2». Вышесказанное подтверждается данными В. С. Лисова при ГСР-50 [1978ф] о проявлении последовательных сдвиговых (борозды скольжения имеют угол падения 10–20°) и взбросо-сдвиговых (борозды скольжения имеют угол падения 45–70°) деформаций по Волчанско-Шайтанскому разлому, являющемуся ветвью Коноваловского разлома. Причём, судя по ориентировке оперяющих разломов [8], при левосдвиговых деформациях по Коноваловскому разлому формировались типичные для сдвига СВ разломы сколового

типа под углом 30–45° к основному разлому. В это время они представляли собой слабо пронизываемые для гидротермальных растворов структуры, но главным в этом процессе было образование собственно трещиноватости.

В следующий этап при взбросо-правосдвиговых деформациях по Коноваловскому разлому сколовая оперяющая система формировалась уже в западном блоке (см. рис. 1), а ранее сформированные СВ оперяющие разломы восточного блока в результате «волочения» изгибались, соответственно приоткрывались для поступления гидротермальных растворов, что и приводило к гидротермальнометасоматическим преобразованиям пород в этих открытых участках. Вероятно, имен-

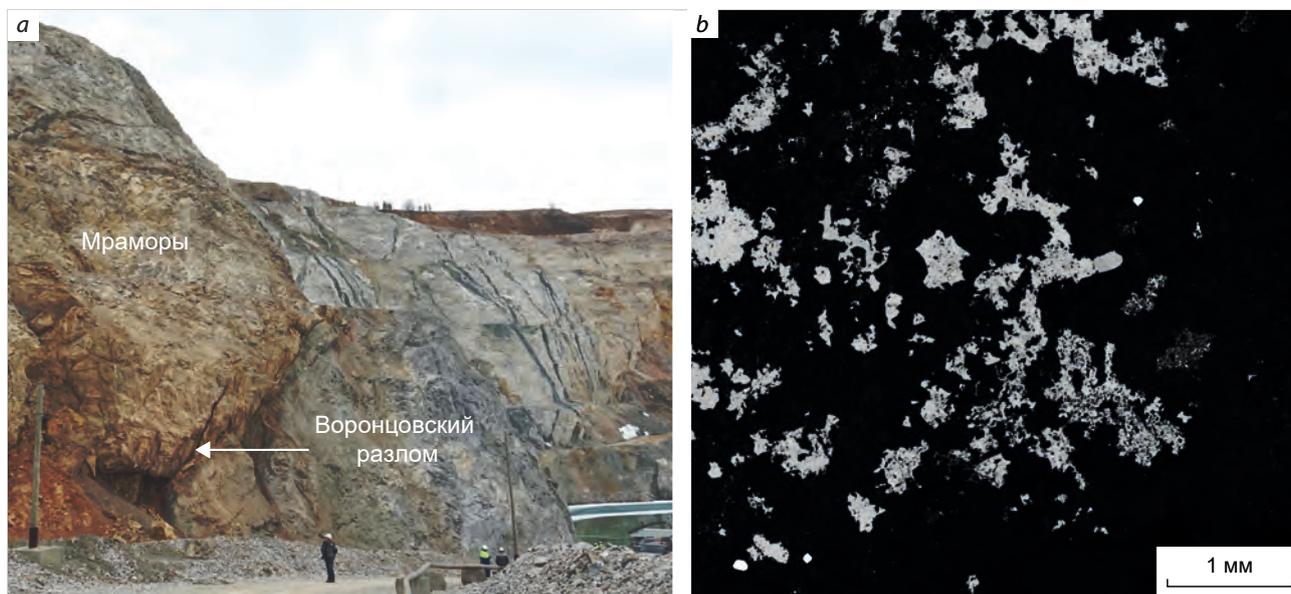


Рис. 20. Месторождение Воронцовское:

a – вид на Воронцовский разлом, разделяющий известняки и туфогенные отложения в южном борту карьера. Видна лимонитизация известняков и деформированных пород в зоне шва разлома (за счёт окисленного анкерита). Фото А. И. Иванова; *b* – СЭМ-изображение анкеритизированных известняков (материал С. Г. Кряжева)

Fig. 20. Vorontsovskoe deposit:

a – view of the Vorontsovsky fault dividing the limestones and tuffaceous deposits in the southern wall of the openpit. Limonitization of the limestones and deformed rocks within the fault suture zone is visible (due to oxidized ankerite). Photo by A. I. Ivanov; *b* – SEM-image of ankeritized limestones (material by S. G. Kryazhev)

но в этот этап (или при последующей взбросо-сбросовой деформации) и образовывались «березиты-2», и он рассматривается нами в качестве главного рудноподготовительного этапа с обогащением метасоматитов золотом, серебром и мышьяком.

Завершающий этап рудообразования – формирование собственно рудных зон – связан с активизацией деформаций и гидротермально-метасоматических преобразований в зонах расланцевания и дробления в швах разломов, вмещающих «березиты-2», в постмагматический этап для гранодиоритов третьей фазы ауэрбаховского комплекса. При этом при активизации деформаций в ЗСРД в термальном ореоле массивов гранодиоритов (в том числе не вскрытых эрозией) в *PT*-условиях «зоны хлорита и мусковита» (мусковитизация, прожилкование кварцевое, альбит-кварцевое,

кварц-анкеритовое, сульфидно-кварцевое и др., сульфидизация) при расланцевании и дроблении «березитов-2» и перераспределении золота и элементов-спутников и его локализации в структурных и «температурных» ловушках формировались рудные зоны. Этот процесс происходил, вероятно, с участием постмагматических и, учитывая значительный привнос серы и мышьяка, глубинных флюидов.

Что касается месторождения Воронцовское, то в его формировании есть определённая специфика вследствие его контроля ЗСРД не Коноваловского, а Краснотурьинского глубинного разлома в иной – терригенно-(туфогенно)-карбонатной – вмещающей среде. При этом стадийность формирования золотого оруденения и принципиальные особенности всех процессов близки. Кроме того, данное место-

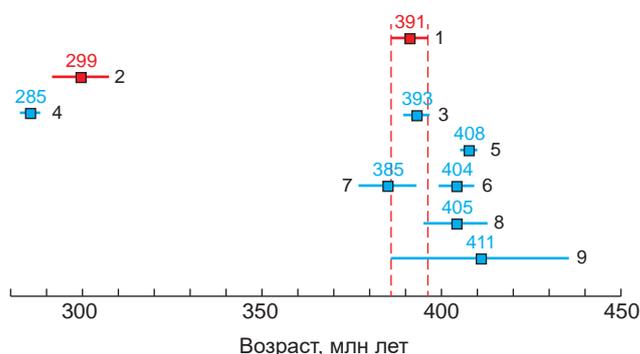


Рис. 21. Датировки руд Воронцовского месторождения (1, 2) и интрузивных пород Ауэрбаховского массива (3–9), по [9]:

1 – Ar-Ar, гидрослюда, туфоалевролит (данное исследование); 2 – K-Ar, слюдяная фракция, цемент известняковой брекчии (Сазонов и др., 1991); 3, 4 – U-Pb, циркон, гранодиорит (3 – время образования, 4 – время преобразования) (Краснобаев и др., 2007; Ферштатер, 2015); 5 – U-Pb, циркон, кварцевый диорит (Грабежев и др., 2014); 6, 7 – U-Pb, циркон, кварцевый диорит (6 – время образования, 7 – время преобразования) (Краснобаев и др., 2007; Ферштатер, 2015); 8 – Rb-Sr, различные породы (Краснобаев и др., 2007; Ферштатер, 2015); 9 – Sm-Nd, биотит-пироксен-амфиболовые диориты (Ронкин и др., 2009)

Fig. 21. Dating of ores of the Vorontsovskoe deposit (1, 2) and of intrusive rocks of the Auerbakh massif (3–9), after [9]:

1 – Ar-Ar, hydromica, tuffaceous siltstone (this study); 2 – K-Ar, micaceous fraction, cement of limestone breccia (Sazonov et al., 1991); 3, 4 – U-Pb, zircon, granodiorite (3 – time of formation, 4 – time of transformation) (Krasnobayev et al., 2007; Fershtater, 2015); 5 – U-Pb, zircon, quartz diorite (Grabezhev et al., 2014); 6, 7 – U-Pb, zircon, quartz diorite (6 – time of formation, 7 – time of transformation) (Krasnobayev et al., 2007; Fershtater, 2015); 8 – Rb-Sr, various rocks (Krasnobayev et al., 2007; Fershtater, 2015); 9 – Sm-Nd, biotite-pyroxene-amphibole diorites (Ronkin et al., 2009)

рождение образовано не в оперяющей разломной структуре, а в продольной относительно Краснотурьинского разлома зоне расщепления, как это происходит в рудоконтролирующих ЗСРД основных золоторудных районов России – Байкало-Патомской, Енисейской и Верхоянской металлогенических провинциях [3, 4].

Возраст золотого оруденения. Приведённые выше данные и опубликованные материалы по изотопным датировкам позволяют определить геологический и «абсолютный» возраст рудоносных процессов в пределах золоторудных месторождений Краснотурьинской площади на основании следующих фактов:

1. Рудоносные процессы (все три этапа березитоидных процессов) коллизионной эпохи проявлены во всех вулканогенно-осадоч-

ных и вулканогенных породах силура–раннего девона.

2. Березитизация второго этапа проявлена в диоритах второй фазы ауэрбаховского комплекса, а все дайки основного и среднего состава в пределах Воронцовского месторождения являются дорудными [2, 17 и др.].

3. В настоящее время получены достаточно надёжные изотопные датировки руд Воронцовского месторождения и интрузивных пород Ауэрбаховского массива [2, 9], приведённые на рис. 21. Возраст собственно оруденения определён в 391 млн лет, а возраст гранодиоритов – 393 млн лет, то есть рудные зоны формировались в постмагматический этап гранодиоритовой фазы. В целом же период образования интрузивных пород Ауэрбаховского массива составляет 18 млн лет (с 411 до 393 млн лет), а «отрыв» третьей гранодиори-

Таблица. Этапы формирования золоторудных месторождений Туринско-Ауэрбаховского рудного района

Table. Stages of formation of gold ore deposits of the Tura-Auerbakh ore region

Эпохи	Этапы золотого рудообразования	Основные рудоконтролирующие геологические образования и процессы	Главные наиболее благоприятные прогнозные факторы
Конседиментационная		Вулканогенные, вулканогенно-осадочные, туфогенно-осадочные, субвулканические образования	Все образования, наиболее благоприятны туфогенно-осадочные
	Коллизионная	Линейного складкообразования	Продольные зоны складчато-разрывных деформаций (зоны динамического влияния глубинных корово-мантийных разломов) с бурошпатизацией 1-го этапа
Секущие разломы фундамента			Достоверно не установлены
Синскладчатый метаморфизм «зоны хлорита»			«Зона хлорита» (по Н. С. Лисову)
Регионального метаморфизма		Региональный метаморфизм «зоны хлорита»	Региональный метаморфизм «зоны хлорита»
Сдвиговых деформаций и внедрения первой и второй фаз ауэрбаховского комплекса		Активизация Коноваловского ЗСРД в качестве сдвигов с формированием при правосдвиговых деформациях зон «березитов-2» в оперяющих СВ разломах. Активизация Краснотурьинского ЗСРД с проявлением березитизации 2-го этапа	Участки изгибов ЗСРД по простиранию. Зоны «березитов-2»
Гранодиоритового магматизма (третья фаза ауэрбаховского комплекса)		Активизация Коноваловского и Краснотурьинского ЗСРД с расланцеванием и дроблением «березитов-2» в продольных субмеридиональных и оперяющих СВ разломах, сульфидизацией, мусковитизацией, концентрацией Au	Зоны ЗСРД
	Периферия надинтрузивных зон с проявлением гидротермально-метасоматических процессов	Не устанавливается достоверно	
	<i>PT-условия</i>	«Зона хлорита»	

товой фазы от второй диоритовой составляет 11–15 млн лет, то есть возможно, что это не фаза ауэрбаховского комплекса, а самостоятельный интрузивный комплекс. Именно с его становлением, по-видимому, связано завершение ранне-среднедевонской коллизии.

Всё вышеизложенное свидетельствует о том, что составление прогнозно-поисковых моделей для прогнозирования новых золоторудных месторождений на Среднем Урале в связи с полигенностью и полихронностью их формирования должно учитывать специфи-

ку золотонакопления на разных этапах коллизионной эпохи развития региона (таблица) [4, 5]. А принимая к сведению значительную «закрытость» территории Среднего Урала, его перспективы на выявление новых месторождений рудного золота на основе охарактеризованных закономерностей представляются весьма значительными. Соответственно, при поисковых работах необходимо применять прогнозно-поисковый комплекс, позволяющий получить положительный результат в сложных ландшафтных условиях.



Список литературы

1. Бобров В. Н. Метасоматическая и сопровождающая золоторудная зональность на месторождении благородных металлов / Рудоносные метасоматические формации Урала. Информ. материалы [Сб. ст]. – Свердловск : ИГГ УрО АН СССР, 1991. – С. 44–46.
2. Викентьев И. В., Тюкова Е. Э., Мурзин В. В. и др. Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис. – Екатеринбург : Форт Диалог-Исеть, 2016. – 206 с.
3. Иванов А. И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
4. Иванов А. И. Прогнозно-поисковые модели полихронных и полигенных золоторудных месторождений – особенности создания и представления // Отечественная геология. – 2024. – № 5. – С. 3–37.
5. Иванов А. И., Трушин С. И. Полигенное и полихронное золотое оруденение Среднего Урала – золотоносные гидротермально-метасоматические процессы и перспективы выявления новых золоторудных месторождений // Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 143–144.
6. Летников Ф. А. Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования / Смирновский сборник-99. – М. : МГУ, 1999. – С. 63–98.
7. Минина О. В. Ауэрбаховская комплексная рудно-магматическая система на Среднем Урале // Отечественная геология. – 1994. – № 7. – С. 17–23.
8. Муди Дж. Д., Хилл М. Дж. Сдвиговая тектоника. Вопросы современной зарубежной тектоники. – М. : Издательство иностранной литературы, 1960. – С. 265–333.
9. Мурзин В. В., Наумов Е. А., Ровнушкин М. Ю. и др. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст золото-мышьяковых руд Воронцовского золоторудного месторождения (Северный Урал) // Литосфера. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 127–132.
10. Мурзин В. В., Сазонов В. Н. Минеральные ассоциации и условия образования сульфидных золотосодержащих руд Турьинско-Ауэрбаховского рудного поля (Урал). – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН, 1996. – 97 с.
11. Мурзин В. В., Сазонов В. Н., Ронкин Ю. Л. Модель формирования Воронцовского золоторудного месторождения на Урале (карлинский тип): новые данные и проблемы // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 66–73.
12. Нарсеев В. А., Сидоров А. А., Фогельман Н. А. и др. Основы прогнозирования золоторудных месторождений в терригенных комплексах. – М. : ЦНИГРИ, 1986. – 192 с.
13. Овчинников Л. Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. – М. : ИМГРЭ, 1998. – 413 с.
14. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа : Дизайн-ПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
15. Сазонов В. Н., Мурзин В. В. Золоторудно-метасоматические формации Урала // Труды ИГГ УрО РАН. – Свердловск : ИГГ УрО РАН, 1990. – № 137. – С. 100–102.
16. Сазонов В. Н., Мурзин В. В., Григорьев Н. А. Воронцовское золоторудное месторождение – пример минерализации карлинского типа на Урале, Россия // Геология рудных месторождений. – 1998. – Т. 40, № 2. – С. 157–170.
17. Черемисин А. А., Злотник-Хоткевич А. Г. Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. – 1997. – № 1. – С. 59–70.
18. Яновский В. М. Рудоконтролирующие структуры терригенных миогеосинклиналией. – М. : Недра, 1990. – 244 с.

References

1. Bobrov V. N. Metasomatic and accompanying gold ore zoning at a precious metal deposit [Ore-bearing metasomatic formations of the Urals. Information materials. Collection of articles], Sverdlovsk, IGG UB RAS of USSR Publ., 1991, pp. 44–46. (In Russ.).
2. Vikent'ev I. V., Tyukova E. E., Murzin V. V. et al. Vorontsovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie. Geo-

- logiya, formy zolota, genesis [Vorontsovskoye gold deposit. Geology, gold forms, genesis], Ekaterinburg, Fort Dialog-Iset' Publ., 2016, 206 p.
3. Ivanov A. I. Zoloto Baikalo-Patoma (geologiya, orudenenie, perspektivy) [Gold of Baikal-Patom (geology, mineralization, prospects)], Moscow, TsNIGRI Publ., 2014, 215 p.
 4. Ivanov A. I. Prognozno-poiskovye modeli polikhronnykh i poligennykh zolotorudnykh mestorozhdenii – osobennosti sozdaniya i predstavleniya [Forecast and exploration models of polychronous and polygenic gold deposits – features of creation and presentation], *Otechestvennaya geologiya [National geology]*, 2024, No 5, pp. 3–37. (In Russ.).
 5. Ivanov A. I., Trushin S. I. Poligennoe i polikhronnoe zolotoe orudenenie Srednego Urala – zolotonosnye gidrotermal'no-metasomaticheskie protsessy i perspektivy vyyavleniya novykh zolotorudnykh mestorozhdenii [Polygenic and polychronous gold mineralization of the Middle Urals – gold-bearing hydrothermal-metasomatic processes and prospects for identifying new gold deposits], *Sbornik tezisev dokladov XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov» [Collection of abstracts of reports of the XIII International scientific and practical conference "Scientific and methodological foundations for forecasting, prospecting, and assessing deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals"]*, Moscow, TsNIGRI Publ., 2024, pp. 143–144. (In Russ.).
 6. Letnikov F. A. Flyuidnye fatsii kontinental'noi litosfery i problemy rudoobrazovaniya [Fluid facies of the continental lithosphere and problems of ore formation], *Smirnovskii sbornik-99 [Smirnovsky collection-99]*, Moscow, MSU Publ., 1999, pp. 63–98. (In Russ.).
 7. Minina O. V. Auerbakhovskaya kompleksnaya rudno-magmaticheskaya sistema na Srednem Urale [Auerbakh complex ore-magmatic system in the Middle Urals], *Otechestvennaya geologiya [National geology]*, 1994, No 7, pp. 17–23. (In Russ.).
 8. Mudi Dzh. D., Khill M. Dzh. Sdvigovaya tektonika. Voprosy sovremennoi zarubezhnoi tektoniki [Strike-slip tectonics. Issues of modern foreign tectonics], Moscow, Foreign Literature Publishing House, 1960, pp. 265–333.
 9. Murzin V. V., Naumov E. A., Rovnushkin M. Yu. et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ vozrast zoloto-mysh'yakovykh rud Vorontsovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Severnyi Ural) [$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of gold-arsenic ores of the Vorontsovskoye gold deposit (Northern Urals)], *Litosfera [Lithosphere]*, 2017, V. 17, No 3, pp. 127–132. (In Russ.).
 10. Murzin V. V., Sazonov V. N. Mineral'nye assotsiatsii i usloviya obrazovaniya sul'fidnykh zolotosoderzhashchikh rud Tur'insko-Auerbakhovskogo rudnogo polya (Ural) [Mineral associations and conditions of formation of sulfide gold-bearing ores of the Turinsko-Auerbakh ore field (Urals)], Ekaterinburg, IGG UB RAS Publ., 1996, 97 p.
 11. Murzin V. V., Sazonov V. N., Ronkin Yu. L. Model' formirovaniya Vorontsovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya na Urale (karlinskii tip): novye dannye i problemy [Model of formation of the Vorontsovskoye gold ore deposit in the Urals (Karlin type): new data and problems], *Litosfera [Lithosphere]*, 2010, No 6, pp. 66–73. (In Russ.).
 12. Narseev V. A., Sidorov A. A., Fogel'man N. A. et al. Osnovy prognozirovaniya zolotorudnykh mestorozhdenii v terrigennykh kompleksakh [Fundamentals of forecasting of gold ore deposits in terrigenous complexes], Moscow, TsNIGRI Publ., 1986, 192 p.
 13. Ovchinnikov L. N. Poleznye iskopaemye i metallogeniya Urala [Minerals and metallogeny of the Urals], Moscow, IMGRE Publ., 1998, 413 p.
 14. Puchkov V. N. Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and the CisUrals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)], Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 2010, 280 p.
 15. Sazonov V. N., Murzin V. V. Zolotorudno-metasomaticheskie formatsii Urala [Gold ore-metasomatic formations of the Urals], *Trudy IGG UrO RAN [Proceedings of the IGG UB RAS]*, Sverdlovsk, IGG UB RAS Publ., 1990, No 137, pp. 100–102. (In Russ.).
 16. Sazonov V. N., Murzin V. V., Grigor'ev N. A. Vorontsovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie – primer mineralizatsii karlinskogo tipa na Urale, Rossiya [Vorontsovskoye gold deposit – an example of Carlin type mineralization in the Urals, Russia], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of ore deposits]*, 1998, V. 40, No 2, pp. 157–170. (In Russ.).



17. Cheremisin A. A., Zlotnik-Khotkevich A. G. Vorontsovskoe zolotorudnoe mestorozhdenie [Vorontsovskoye gold deposit], *Rudy i metally* [Ores and metals], 1997, No 1, pp. 59–70. (In Russ.).
18. Yanovskii V. M. Rudokontroliruyushchie struktury terrigennykh miogeosinklinali [Ore-controlling structures of terrigenous miogeosynclines], Moscow, Nedra Publ., 1990, 244 p.

Иванов Анатолий Иннокентьевич (a.ivanov@tsnigri.ru)

доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН, и. о. генерального директора ¹

Трушин Сергей Иванович

заместитель генерального директора по минерально-сырьевым ресурсам ²

¹ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва, Россия

² АО «Полиметалл», г. Санкт-Петербург, Россия