DOI:10.47765/0869-7175-2025-10010 УДК 549.283:550.841
© Л. В. Шатилова, Н. Н. Позднякова, В. В. Столяренко, С. В. Минаева, 2025

Особенности структуры и морфологии самородного золота Верхне-Якокутского потенциального рудного поля

Аннотация. Проанализировано самородное золото из пород разного состава трёх участков Верхне-Якокутского рудного поля (Республика Саха (Якутия)). Установлено наличие четырёх генераций золота, различающихся по пробности и внутреннему строению, что свидетельствует о пульсационном характере отложения золота и его эпикристаллизационных преобразованиях в рамках двухэтапного процесса рудогенеза в условиях малых и средних глубин.

Ключевые слова: самородное золото, типоморфизм, внутреннее строение, пробность, прожилково-вкрапленная золото-кварцевая минерализация.

ШАТИЛОВА ЛЮДМИЛА ВИКТОРОВНА, старший научный сотрудник, shatilova@tsnigri.ru

ПОЗДНЯКОВА НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, natali-silver@bk.ru

СТОЛЯРЕНКО ВЛАДИМИР ВАЛЕНТИНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, stolyarenko@tsnigri.ru

МИНАЕВА СВЕТЛАНА ВИКТОРОВНА, ведущий инженер, minaeva@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

Diagnostic features of the structure and morphology of native gold of the Verkhne-Yakokutskoe potential ore field

L. V. SHATILOVA, N. N. POZDNYAKOVA, V. V. STOLYARENKO, S. V. MINAEVA
Federal State Budgetary Institution “Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals” (FSBI “TSNIGRI”), Moscow

Annotation. Native gold from different rocks of three sites of the Verkhne-Yakokutskoe ore field (Republic of Sakha (Yakutia)) was analyzed. Four generations of the gold were distinguished that differed in fineness and internal structure, which indicates a pulsating nature of the gold deposition and its epicrystallization transformations within a two-stage ore genetic process under small and medium depths conditions.

Key words: native gold, typomorphism, internal structure, fineness, veinlet-disseminated gold-quartz mineralization.

Введение. В обстановке практически полного окисления руд самородное золото служит источником важной информации об условиях и последовательности рудообразования. Для решения таких задач из проб, отобранных на перспективных участках (Юрбетский, Южно-Юрбетский и Якокутский), было выделено и проанализировано около 3000 золотин. В пределах зерна изучены вариации пробности, элементный микропримесный состав и минеральные включения. Показаны особенности самородного золота трёх участков в различных частях грабен-впадины, содержащих золоторудные проявления разных морфоструктурных типов в толще юрских терригенных пород. Полученные данные позволяют уточнить представления о коренных источниках, по которым проведено сопоставление полученных признаков.

Геолого-минералогическая характеристика района. Верхне-Якокутская грабен-впадина, рассматриваемая в качестве Верхне-Якокутского потенциального рудного поля (РП), расположена в Центрально-Алданском рудном районе (РР) и вместе с Куранахской грабен-впадиной относится к блоковым структурам второго порядка, осложняющим площадь рудного района. Структурно-тектоническое строение Верхне-Якокутского РП обусловлено формированием в нём зоны мезозойской тектонической активизации в результате сводово-глыбового тектоногенеза. Границами Верхне-Якокутской грабен-впадины (точнее, её наиболее опущенной части) служат региональные зоны дофанерозойских разломов первого порядка: Юхтинского, Верхнеыллымахского, Ыллымахского, Джекондинского, Якокутского и Томмот-Эльконского (рис. 1). Последние два являются основными рудоконтролирующими структурами Центрально-Алданского района. К ним приурочено большинство известных в данном регионе месторождений рудного золота.

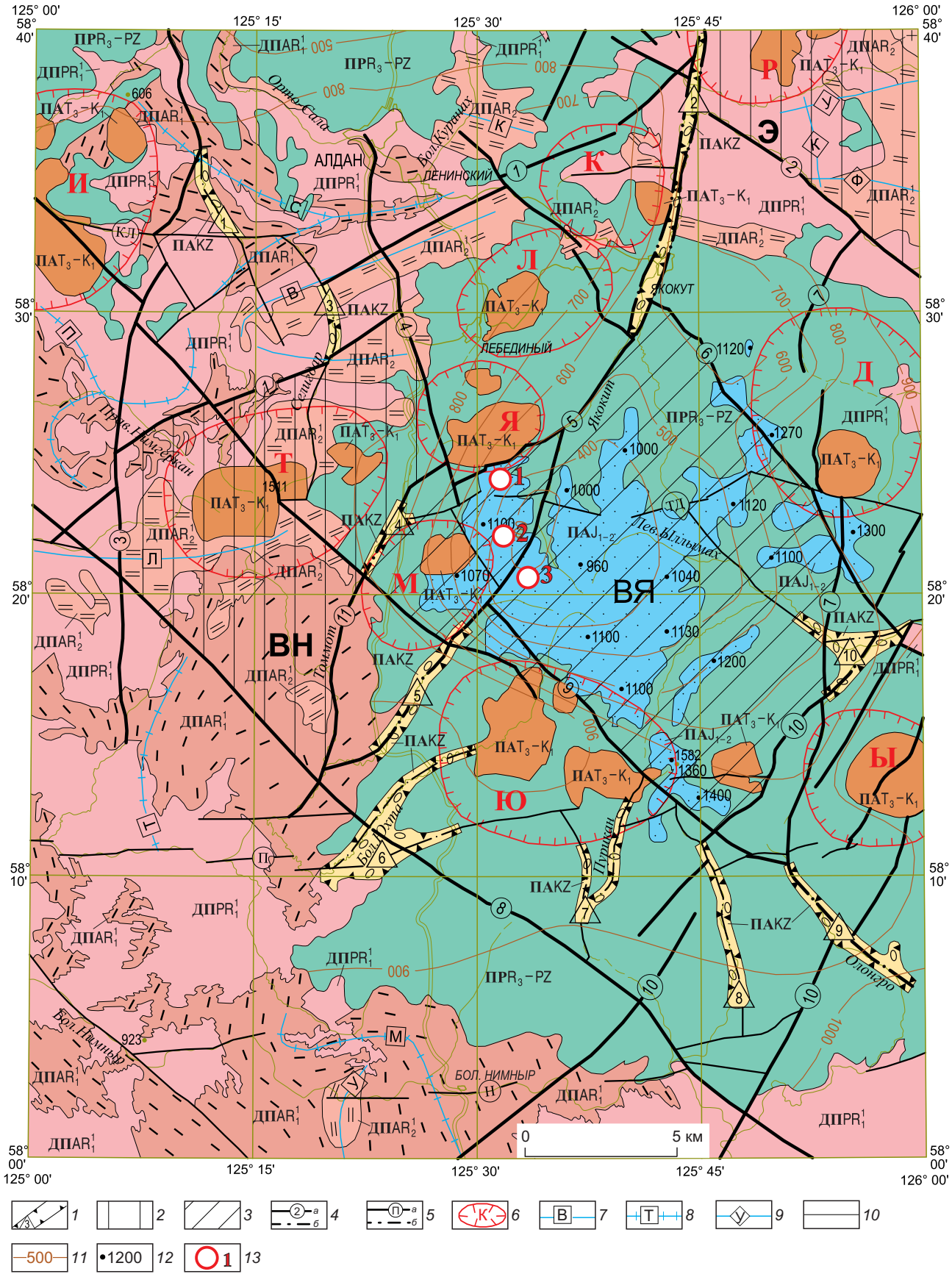
Геологическое строение Верхне-Якокутского РП определяется наличием двух структурных этажей – докембрийских сложнодислоцированных образований кристаллического фундамента и суб-

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Верхне-Якокутского потенциального рудного поля с выделенными перспективными участками, лист O-51-XVIII:

структуры неотектонической активизации (IV структурный этаж): *1* – кайнозойские грабен-долины: 1 – Среднеселигдарская, 2 – Верхне-Якокутская, 3 – Верхнеселигдарская, 4 – Верхнетоммотская, 5 – Малоюхтинская, 6 – Большеюхтинская, 7 – Пуриканская, 8 – Пуричинская, 9 – Олонгринская, 10 – Левоыллымахская; **структуры мезозойской эпиплатформенной активизации (III структурный этаж)**: *блоковые структуры II порядка*: *2* – горсты (Э – Эльконский, ВН – Верхне-Нимгерканский, *3* – грабен-впадина: ВЯ – Верхне-Якокутская; разломы: *4* – главные: *а* – достоверные и *б* – скрытые под перекрывающими образованиями: 1 – Томмотский, 2 – Юхухтинский, 3 – Хатыстырский, 4 – Ортосалинский, 5 – Якокутский, 6 – Верхнеыллымахский, 7 – Джекондинский, 8 – Верхненимгерканский, 9 – Юхтинский, 10 – Ыллымахский, 11 – Томмот-Эльконский и *5* – второстепенные: *а* – достоверные и *б* – скрытые под перекрывающими образованиями: КЛ – Кюелляхский, ТД – Томмот-Джекондинский, П – Пуриканский, Н – Нимнырский; *6* – узлы проявлений магматизма (магматогены): И – Инаглинский, Т – Томмотский, Р – Рябиново-Редергинский, Л – Лебединский, Д – Джекондинский, Ы – Ыллымахский, Ю – Юхтинский, М – Мрачнинский, Я – Якокутский, К – Колтыконский; **структуры кристаллического фундамента (I структурный этаж)**: *пликативные структуры*: *7* – оси синклиналей (синформ): Л – Левонимгерканская, В – Верхнеортосалинская, К – Колтыконская, У – Усть-Николкинская; *8* – оси антиклиналей (антиформ): С – Селигдарская, П – Правонимгерканская, Т – Томмотская, М – Малоянская; *9* – зоны разломов раннедокембрийского заложения: У – Удачная, Ф – Федоровская, К – Курумканская; *10* – границы геологических формаций; *11* – изогипсы подошвы венд-нижнекембрийских отложений, м; *12* – абсолютные отметки подошвы юрских отложений, м; *13* – поисковые участки с золоторудными объектами различных морфологических типов: 1 – Юрбетский, 2 – Южно-Юрбетский, 3 – Якокутский

Структурные этажи и слагающие их формации

Структурные этажи (возраст формаций) \ Этапы развития	Эпиплатформенной активизации	Платформенный	Доплатформенный
	ПА	П	ДП
КАЙНОЗОЙСКИЙ (KZ) (IV СТРУКТУРНЫЙ ЭТАЖ)	ПАKZ – глинисто-песчано-конгломератовая		
МЕЗОЗОЙСКИЙ (MZ) (III СТРУКТУРНЫЙ ЭТАЖ)	ПАT_3–K_1 – щелочносиенит-щелочногранитовая, щелочнопикритовая, монцонит-сиенит-гранитовая, фергусит-щелочно-сиенитовая, лейцитит-щелочнотрахитовая; ПАJ_{1-2} – конгломерато-песчаниковая		
ПОЗДНЕПРОТЕРОЗОЙСКО-ПАЛЕОЗОЙСКИЙ (PR_2–PZ) (II СТРУКТУРНЫЙ ЭТАЖ)		ПРR_3–PZ – мергельная, мергельно-доломитовая, доломитовая	
РАННЕАРХЕЙСКО-РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИЙ (AR_1–PR_1) (I СТРУКТУРНЫЙ ЭТАЖ)			ДПPR_1^1 – гранитовая; ДПAR_2^1 – плагио-гранитовая; ДПAR_2^1 – мрамор-сланцевая; ДПAR_1^1 – кварцито-гнейсовая


125° 00'
125° 15'
125° 30'
125° 45'
126° 00'
58° 40'
58° 30'
58° 20'
58° 10'
58° 00'
ПРR3–PZ
ДПАR1
ДПРR1
ПАТ3–К1
ПАКZ
ПАJ1–2
АЛДАН
ЛЕНИНСКИЙ
ЯКОКУТ
ЛЕБЕДИНЫЙ
БОЛ. НИМНЫР
Орто-Сала
Бол.Куранах
Селигдар
Прав.Нимгеркан
Томмот
Якокит
Лев.Ыллымах
Бол.Охта
Пурикан
Олонгро
Бол.Нимныр
ВН
ВЯ
Ю
Ы
Д
Я
Т
М
Л
К
Р
Э
И
1
2
3
0
5 км
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

горизонтально залегающих на них осадочных пород платформенного чехла. Платформенный чехол подразделяется на два яруса – венд-нижнекембрийский и нижнеюрский. Венд-нижнекембрийский ярус образован карбонатными породами, которые с региональным несогласием залегают на выровненной поверхности докембрийского фундамента. В свою очередь, карбонатная толща со скрытым угловым несогласием перекрывается нижне-среднеюрскими терригенными отложениями. В пределах площади образования фундамента не обнажаются.

Как и на всём Центральном Алдане мезозойские магматические образования Верхне-Якокутского РП отличаются разнообразием состава и исключительной ролью одного из важнейших факторов рудоконтроля – интенсивным проявлением гидротермально-метасоматических процессов. Мезозойские магматические образования представлены штоками, силлами и дайками: среднеюрскими–позднемеловыми лампрофирами и лампроитами нижнекуранахского, позднеюрскими–раннемеловыми сиенитами лебединского, раннемеловыми сиенит-порфирами колтыконского и раннемеловыми тингуаитами и сельвсбергитами эльконского комплексов.

С магматизмом среднеюрско-позднемеловых лампрофиров, лампроитов и позднеюрско-раннемеловыми породами лебединского монцонит-сиенитового комплекса связано проявление метасоматитов пирит-карбонат-калишпат-кварцевого состава. Данный комплекс пород распространён относительно локально, проявлен в виде линейных прерывистых зон вдоль даек, реже – пластовых интрузий. Интенсивность гидротермально-метасоматических процессов этого типа самая различная: от незначительной (окварцевание вмещающих песчаников, проявление карбонатных прожилков) до интенсивной (образование пирит-кварцевых тел по зонам дробления и приконтактовым частям даек, тектонических нарушений). По вещественному составу, геохимической специализации, связи с определёнными магматическими породами данные образования можно отнести к сульфидно-кварцевой формации с золотом, характерной для месторождений Лебединского рудного узла, проявленной в специфических условиях юрской терригенной толщи.

Непосредственно рудные тела чётко контролируются зоной метасоматитов пирит-(лимонит)-калишпат-карбонат-кварцевого состава, развивающихся по зонам дробления осадочных пород и даек. Зона окисления развивается до глубины 20–50 м (в отдельных случаях до 100 м), выражается в практически полном замещении пирита лимонитом и интенсивном разрушении вмещающих пород до глинисто-дресвяно-щебнистого состояния. Неокисленные золоторудные метасоматиты прослежены до глубины 90–100 м по всей осадочной толще вплоть до гумбеитизированных кембрийских доломитов.

Распределение золота в пределах зоны неравномерное, содержание его резко меняется через 40–50 м от 0,6 до 5–6 г/т. С глубиной содержание металла может уменьшаться. Возможно, это связано с обогащением приповерхностных руд в процессе окисления в коре выветривания. Границы рудных тел часто устанавливаются только опробованием.

В пределах РП выделен ряд перспективных участков, содержащих золоторудные проявления различных морфоструктурных типов в толще юрских терригенных пород, – Юрбетский, Южно-Юрбетский и Якокутский (Е. И. Бирюков, 2007; А. Н. Власов, 2008).

Участок Юрбетский расположен в северо-западной части Верхне-Якокутской грабен-впадины. Структурно-тектонический план участка определяется его положением в зоне влияния фрагментов субмеридиональной ветви Якокутского и северо-восточной ветви Томмот-Эльконского региональных разломов глубинного заложения. В узлах сопряжения региональных разломов образуется зона трещиноватости с каркасно-блоковым строением повышенной «проницаемости». Подобные тектонические зоны вмещают интрузии широкого возрастного диапазона, от среднеюрских до позднемеловых, а также зоны тектонических брекчий, секущие меловые интрузии, что свидетельствует о неоднократном подновлении разломов этой системы. Развитие зон неоднократно подновлявшихся разрывных дислокаций способствовало формированию в них золотоносных гидротермально-метасоматических образований, развитых по минерализованным зонам дробления, по различно ориентированным дайкам субщелочного состава и тектоническим брекчиям. Основное количество даек и зон дробления имеют ССВ простирание. В результате гидротермальной проработки в ряде зон дробления образовалась прожилково-вкрапленная золото-кварцевая минерализация, вплоть до развития кварцевых жил, а также возникли минерализованные зоны тектонических брекчий с кварцевым цементом.

Кварцевые жилы (Юрбет I, Юрбет II, Юрбет III) в пределах участка прослеживаются на протяжении 800–900 м к ключу Горный, их вскрытая мощность составляет около 1,0 м. Они сопровождаются маломощными дайками щелочного комплекса. Жилы представлены серо-жёлтым охристым сульфидизированным (1–5 %) кварцем «сухаристого» облика с вкраплениями рудных минералов, иногда магнетита. Сульфиды почти полностью окислены, по форме псевдоморфоз и составу реликтов в них преобладал пирит. На их месте образовались пустоты, выполненные жёлто-бурой охрой и гётитом. Содержания золота (1–5 г/т) в жилах неравномерные.

На участке выявлена серия тектонических субвертикальных зон дробления ССЗ простирания, общей мощностью приблизительно 600 м. Данные зоны (каждая мощностью до первых метров) золотоносны, сложены обохренным, выветрелым дресвяно-щебнистым материалом бурым, ржаво-бурым лимонит-калишпат-карбонат-кварцевого состава с включениями, прожилками (мощностью до 6 см) и просечками кварца, с массивно-кавернозной текстурой, с размером обломков до 3 см (иногда 10 × 15 см). Зоны нередко трассируются дайками, в том числе минетт, субщелочных пород разного состава и ориентировки.

В зонах дробления вмещающие песчаники, дайки и сопровождающие их зоны сульфидизации и окварцевания подвергались дроблению, последующей цементации кварцевым веществом с формированием зон брекчирования. Тектонические брекчии состоят из песчаников, алевролитов, сланцев, с цементированием сульфидизированным кварц-полевошпатовым агрегатом. Наличие во многих брекчиях обломков, реликтов послеюрских интрузивных пород лебединского комплекса, представленных сиенитами и сиенит-порфирами, указывает на то, что часть их образовалась позже внедрения пород этого возраста. Их простирание различно и определяется зонами дробления, с которыми они сопряжены.

Вскрытые канавами (К-27, 45, 46) тела тектонических брекчий имеют мощность от 2–3 до 10 м, состоят из остроугольных обломков кварца, окварцованных песчаников, алевролитов или лейкократовых интрузивных пород размером от 0,5–7 до 20 мм, связанных базальным цементом в виде молочно-белого кварца с тонкорассеянной вкрапленностью пирита. Сульфидизация в некоторых местах достигает 15–20 %. Брекчии в основном выветрены и окислены, с развитием гидроксидов Fe и Mn по массе, с обилием пустот в виде каверн. В ряде случаев вследствие гипергенной дезинтеграции они разрушены до рыжей сыпучей массы, состоящей из обломков брекчий, вмещающих пород и жёлто-серой супеси.

Дезинтегрированная дайка минетт мощностью первые метры представлена рыхлой массой зелёного, грязно-зелёного цвета, разрушенной до песчано-дресвяного материала. В породе присутствует большое количество лейст слюды. В теле дайки отмечаются прожилки (мощностью до 2 мм) или трещины, выполненные бурыми агрегатами лимонита.

Участок Южно-Юрбетский расположен на южном продолжении Юрбетских жил. В его пределах канавами вскрыты развитые по зонам дробления в песчаниках:

- золотосодержащие метасоматические образования кварц-лимонит-полевошпатового, карбонат-кварц-лимонит-полевошпатового составов, сульфидизированные (до 3–5 %), которые в зоне гипергенеза за счёт выветривания имеют кавернозный вид;
- окварцованные и интенсивно лимонитизированные песчаники светло-серые, бежевые, окварцованные, мелкозернистой структуры;
- дайка минетт (К-30), сопряжённая с зоной дробления, мощностью около 4,5 м, представленная сильно выветренными интенсивно ожелезнёнными лимонит-кварцевыми метасоматитами.

Участок Якокутский расположен в южной части грабен-впадины. Породы терригенного и карбонатного чехлов вмещают огромное количество мезозойских малых интрузий щелочного и щёлочноземельного составов. Их концентрация местами достигает 20–40 тел на квадратный километр. Участок находится в зоне сопряжения южного фрагмента Якокутского регионального разлома северо-восточного простирания и Юхтинского северо-западного простирания. Возникает узел сочленения разнонаправленных неоднократно подновлённых разрывных нарушений более высоких порядков. Сочетания разрывных нарушений различных порядков контролируют размещение интрузивных тел, гидротермально-метасоматических образований и рудных тел, формируя структуру участка.

В северо-западной части участка вскрываются окварцованные и сульфидизированные (до 10–13 %) песчаники мелкозернистой структуры

с прожилками друзового кварца (до 2 см в поперечнике), в целом кавернозные, по трещинам и по массе за счёт выветривания интенсивно лимонитизированные, с образованием обломков гидроксидов Fe и Mn.

Зона дробления имеет мощность 2–3 м, субширотное простирание, представлена рыхлым обохренным, выветрелым песчано-дресвяным материалом бурого цвета со светло-серыми, серыми сульфидизированными (до 15–17 %) обломками (до 4 см, иногда 7–10 см) окварцованных песчаников, с включениями в них прожилков (до 1 см) друзового кварца прозрачного, полупрозрачного, часто покрытого гидроксидами Fe и Mn.

Основная рудная зона Геохимическая с близко вертикальным падением пород, протяжённостью 3,5 км, мощностью 2–16 м (в раздувах до 50 м) на юго-восточном фланге осложнена узлом сочленения разнонаправленных разрывных нарушений, трассируемых дайками различного состава. Зона выполнена метасоматитами кварц-сульфидно-карбонатного, карбонат-кварц-сульфидного составов, часто разрушенными до глины и дресвы, которые развиваются как по песчаникам и алевролитам (а также по их брекчиям), так и по породам даек щелочного состава. Минералогический состав тяжёлой фракции шлиха пробы из метасоматитов представлен окисленными до лимонита пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, магнетитом, вторичными минералами меди, рисовидным кварцем, баритом, ярозитом, флюоритом. Золотое оруденение приурочено к лимонитизированным метасоматитам, брекчиям, к углистым плотным алевролитам, часто окварцованным и пиритизированным. К северо-западу от рудной зоны Геохимическая вскрыты выветрелые, лимонитизированные, с кавернами дайки ортофиров и лампроитов. Их сульфидизация в среднем составляет около 10 %.

В целом проявленная золотоносность трёх участков приурочена к тектоническим зонам дробления и гидротермально-метасоматическим образованиям пирит-карбонат-полевошпат-кварцевого состава по первичным осадочным породам с последующим интенсивным изменением в зоне гипергенеза.

Методика исследования. В пределах рудного поля по трём участкам из золотосодержащих пород (минерализованных брекчий с сульфидно-кварцевыми маломощными прожилками, окварцованных и сульфидизированных песчаников, метасоматитов зон дробления и брекчирования с кварцевым цементом по песчаникам, алевролитам, сланцам, дезинтегрированных даек минетт, ортофиров, лампроитов) было отобрано свободное видимое самородное золото в количестве от 4–5 знаков до весовых значений в отдельных пробах (более 2000 знаков, уч. Юрбетский) и проведено комплексное изучение его типоморфизма. Тонкодисперсное золото было установлено ранее в единичных аншлифах в сульфидах (пирите и халькопирите), псевдоморфозах гётита по пириту (2–4 мкм, редко до 10–20 мкм) и в виде микровключений в кварце [5].

Нами исследовалось видимое золото по методикам, разработанным в ФГБУ «ЦНИГРИ» [1, 2]. Анализировались его гранулометрия и морфология, изучались характер поверхности, детали внутреннего строения, признаки посткристаллизационных метаморфических преобразований и гипергенных изменений, а также состав сростков. Распределение содержаний золота и серебра в отдельных золотинах, набор и концентрации элементов-примесей в них определялись при помощи рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на приборе Cameca SX50, 15 kV, 30 nA, диаметр зонда ~ 3 μm, точность определения содержаний элементов ± 0,1 мас.%. Внутреннее строение золота изучалось на тех же образцах методом многократного структурного травления раствором CrO_3 + HCl. В реагенте HCl играет роль сильного окислителя, а CrO_3 является комплексообразователем, который необходим для подавления реакции восстановления окисленного в процессе травления золота. Структурные особенности золота и наблюдаемые взаимоотношения фаз фиксировались при помощи встроенной цифровой фотокамеры на поляризационном микроскопе Olympus BX-51.

Результаты исследований типоморфизма золота. *Гранулометрический состав* видимого золота показал на фоне относительно мелкого (~ 0,3 мм) наличие значимых количеств золота классов -0,5+0,3 и -1,0+0,5 мм, а в ряде случаев класса +1,0 мм (уч. Юрбетский) (рис. 2). Золото размером 0,15–0,05 мм чаще отмечается в пробах, отобранных по зоне Геохимическая участка Якокутский. Это то золото, которое распределяется в породе-продуценте более равномерно.

По *морфологии* видимое золото трёх участков жёлтого (до 90 % в пробе), тёмно-жёлтого (до 25–30 %), светло-жёлтого (до 15–20 %) цветов, «руд-

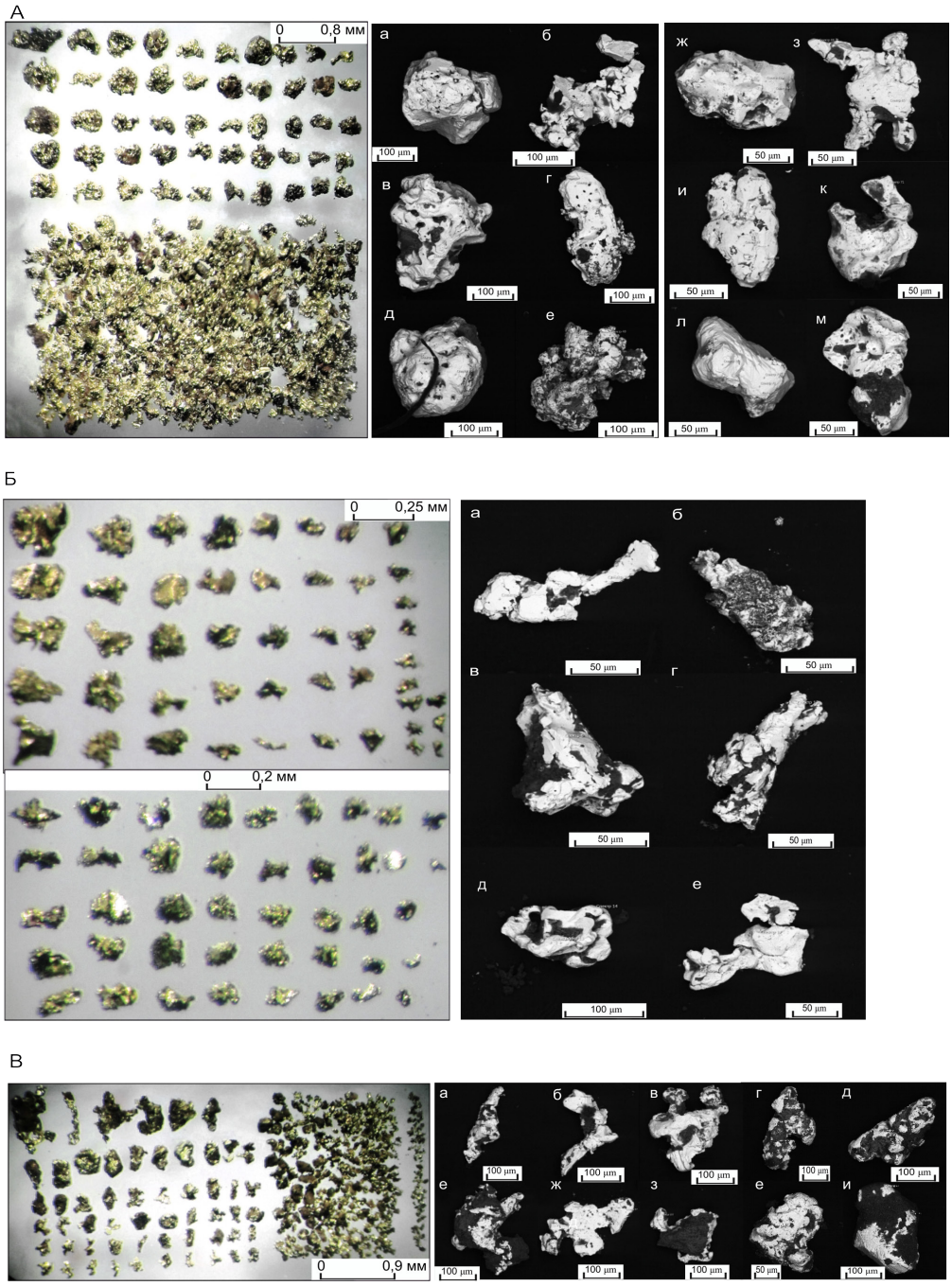


Рис. 2. Самородное золото участков Юрбетский (А), Южно-Юрбетский (Б), Якокутский (В): общий вид гранулометрического состава в пробах под бинокуляром и форма отдельных частиц с характеристикой поверхности в электронном микроскопе:

А – золотины с сохранёнными в углублениях плотными лимонитизированными агрегатами кварц-глинистого состава с различной микроповерхностью: с единичными порами и последовательным наслоением (а), ячеистая, участками тонкослоистая (б), ячеистая с последовательным наслоением (в), ровная с признаками выщелачивания (г), мелкобугорчатая с единичными порами (д), губчатая (е), ровная с редкими ямчатыми углублениями, преходящая в мелкопористую (ж–к, м), ступенчатая (л); Б – золотины с сохранёнными в углублениях плотными лимонитизированными агрегатами кварц-глинистого состава с различной микроповерхностью: ровной (д), гладкой (а, в), микропористой (е), тонкозанозистой (б), ямчатой, с примятыми выступами (г); В – золотины с сохранёнными в углублениях плотными лимонитизированными агрегатами кварц-глинистого состава с различной микроповерхностью: ровной (ж, и), гладкой (а, в), ямчато-бугорчатой (б, г, д, з), с примятыми выступами (е), ступенчатой (в)

ного» облика или со слабыми признаками преобразования в зоне гипергенеза – с занозистыми, острыми краями, реже с оглаженными и обмятыми выступами. Визуально можно выделить две группы (I и II) частиц со своими характерными признаками, при этом одна существенно преобладает над другой в любой представительной пробе (рис. 3).

Основную часть составляют золотины в сростках с кварцем, с губчато-мелкоячеистым или бугорчатым, переходящим в ямчатый рельефом поверхности. Это пластинчатые прожилковидно-интерстициальные разности, образованные при выполнении трещин, и объёмные удлинённые комковидно-гемиидиоморфные выделения, которые сформировались при отложении в неоднородных средах. Двумерные дендриты, уплощённые и объёмные искажённые, щепковидные, проволоковидные кристаллические сростки, нередко встречающиеся в зонах дробления, образовались при повышенной газоносности среды или увеличении в поступающем растворе содержаний серебра (см. рис. 3, А).

В подчинённом количестве отмечаются объёмные огранённые с оглаженными выступами до почти шарообразных сростки кристаллов, отличающиеся матовой мелкобугорчатой или ровной с шагренью поверхностью, чёткими ступенями роста. Первично оглаженные их контуры, притуплённые рёбра и вершины, ступенчатый рельеф – признаки пульсационной кристаллизации данной разновидности золота в контактовых зонах даек и малых интрузий с осадочными породами и дальнейшего интенсивного преобразования при гидротермально-метасоматическом метаморфизме (см. рис. 3, Б).

В целом у всех золотин видны изменения при нахождении их в зонах гидратации и выщелачивания в гипергенном профиле глинистой коры выветривания. Макроскопически это проявлено присутствием на поверхности значительной части выделений золота (20–60 %) скоплений ожелезнённых агрегатов кварц-глинистого состава и примазок, плёнок или плотных корок гидроксидов Fe и Mn, являющихся псевдоморфозами по сульфидным минералам. Во внутреннем строении гипергенные изменения отчётливо фиксируются в виде коррозионной оболочки с зубчатым внешним краем и межзерновых высокопробных прожилков и обособлений. У некоторых золотин наблюдаются микропористость поверхности на ровных участках, тонкая слоистость на выступах или выщелоченный губчатый рельеф с включениями гидроксидов (см. рис. 2). Такой рельеф возникает под воздействием интенсивных механических трений при тектонических подвижках или благодаря растворению в зоне окисления вмещающих руд, но не является результатом окатывания в условиях россыпей, как предполагалось другими исследователями [5]. Гладкая, участками тонкоступенчатая или щелевидно-ячеистая микроповерхность, реже с дендритным микрорельефом (уч. Южно-Юрбетский) характерна для золота, образованного на средних и малых глубинах [3].

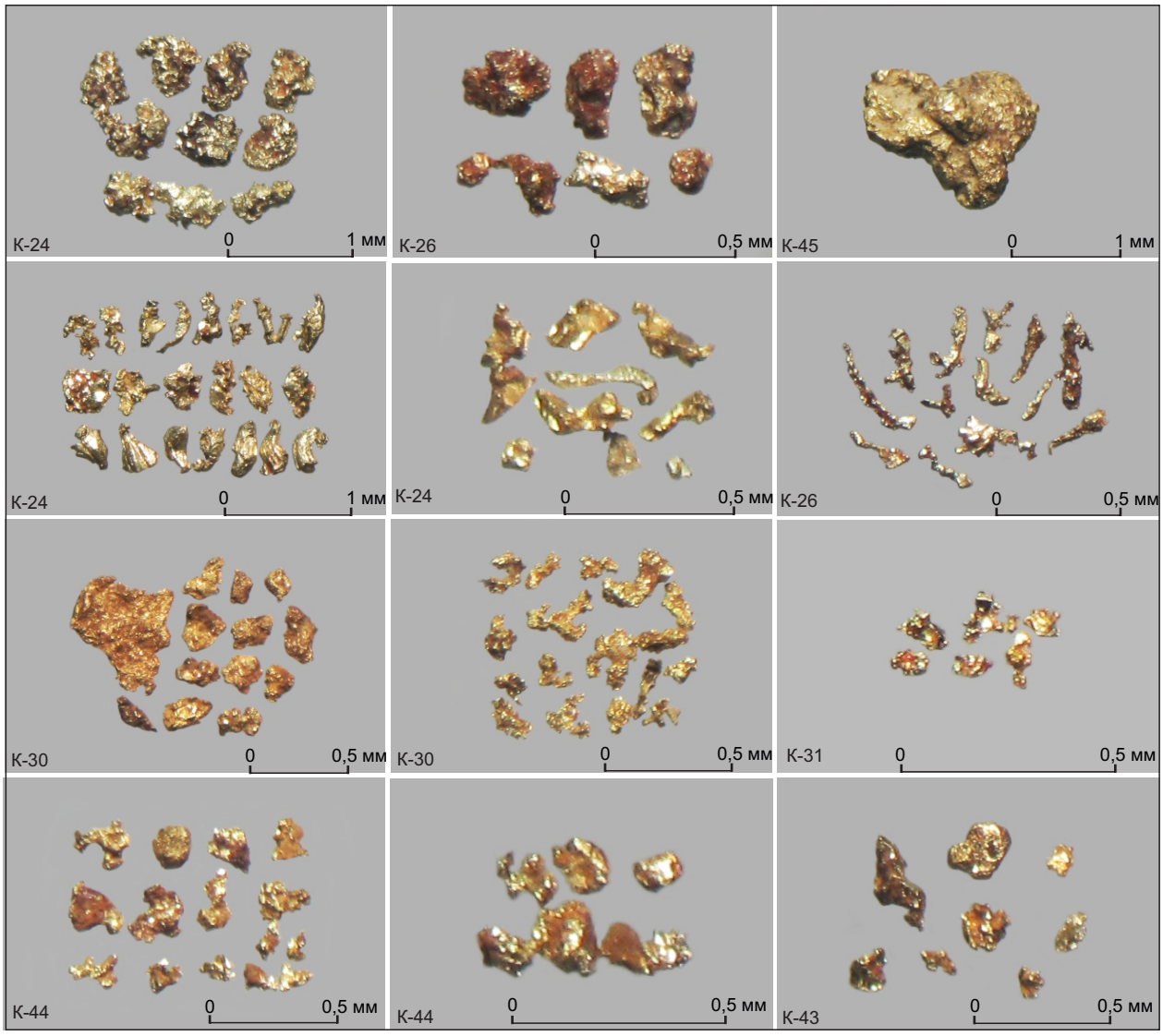
Среди *элементов-примесей* в составе золота помимо серебра отмечается постоянно повышенное содержание Te, иногда – Bi, Cu, спорадически встречаются Sb, Zn, Pd, редко – As, Hg.

Для видимого самородного золота рассматриваемой площади установлены *особенности внутреннего строения*, *вариации его пробности, минеральные микровключения.* При детальном изучении разного по морфологии золота с учётом сходных состава, концентраций элементов-примесей, присутствия тонких включений выявлены **четыре генерации**, образующие самостоятельные частицы и гетерофазные разности, для которых

Рис. 3. Морфология самородного золота «рудного» облика из пород разного состава: из минерализованных зон дробления на участках Юрбетский (К-24, 26, 45, 46), Южно-Юрбетский (К-30), из окварцованных и сульфидизированных песчаников на участках Южно-Юрбетский (К-31), Якокутский (К-43), с незначительными признаками преобразования в зоне гипергенеза:

А – золото первой разновидности – в сростках с кварцем, с губчато-мелкоячеистым или бугорчатым (переходящим в ямчатый) рельефом поверхности трещинно-интерстициальные, комковидно-гемиидиоморфные разности, дендриты, уплощённые и объёмные искажённые, щепковидные, проволоковидные кристаллические сростки; Б – золото второй разновидности на фоне золотин первой разновидности (А) – с первично оглаженными контурами объёмные, огранённые с оглаженными выступами до почти шарообразных сростки кристаллов, с матовой мелкобугорчатой или ровной поверхностью, чёткими ступенями роста

А


К-24 0 1 мм
К-26 0 0,5 мм
К-45 0 1 мм
К-24 0 1 мм
К-24 0 0,5 мм
К-26 0 0,5 мм
К-30 0 0,5 мм
К-30 0 0,5 мм
К-31 0 0,5 мм
К-44 0 0,5 мм
К-44 0 0,5 мм
К-43 0 0,5 мм

Б

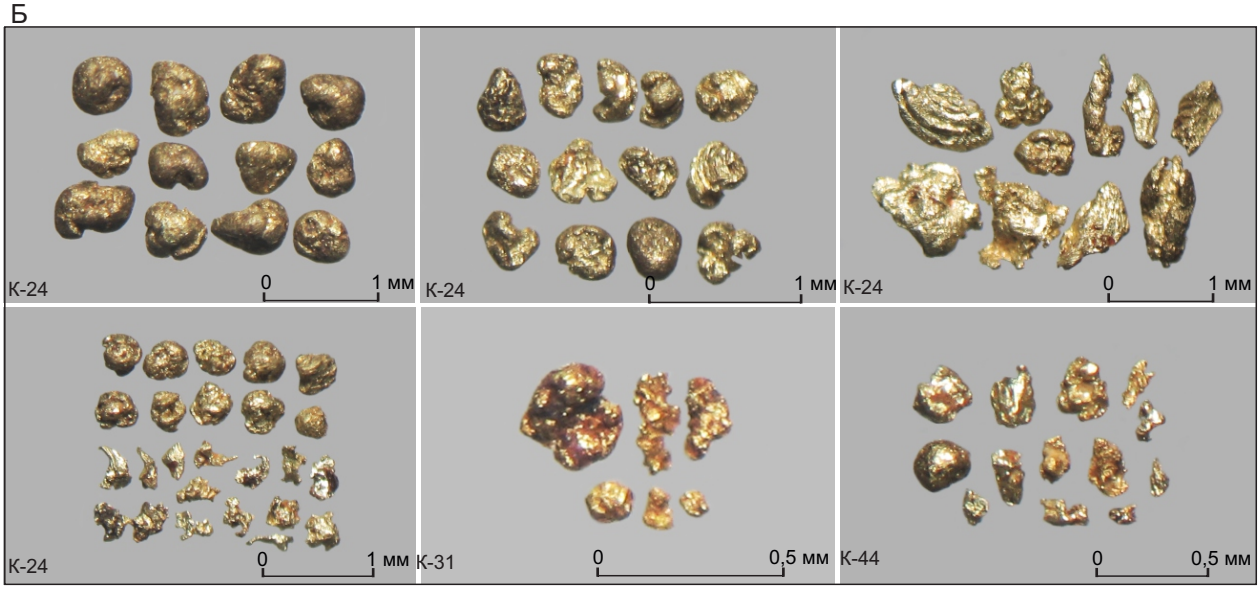

К-24 0 1 мм
К-24 0 1 мм
К-24 0 1 мм
К-24 0 1 мм
К-31 0 0,5 мм
К-44 0 0,5 мм

Рис. 4. Монозёрна Au-1 с пятнисто-неоднородной и «меланжевой» структурами. Центральный Алдан, Верхне-Якокутское потенциальное рудное поле, участки Якокутский (К-12), Юрбетский (К-24), монтир. полир. шлиф, 3 травление CrO_3 + HCl

предлагается следующая последовательность отложения.

Наиболее ранним золотом, формировавшимся в нижних частях рудного интервала, представляется **золото первой генерации (Au-1)**. Для него характерны относительно низкая (676–780 ‰) пробность, неоднородное моно- или неясно-зернистое пятнисто-зональное или неясно-зональное строение, разная мощность диффузионных зон, обеднённых золотом (рис. 4). Посткристаллизационные преобразования, обусловленные незначительным изменением физико-химического состояния среды, привели к повышению пробности на периферии частиц в результате выноса серебра и других элементов-примесей, утрате зональности и появлении «меланжевой» (тонконеоднородной) структуры в золоте (см. рисунки 4, 5).

Золото второй генерации (**Au-2**), отличающееся, судя по картине травления, ещё более низкой пробностью и тонкозональным строением, вы-

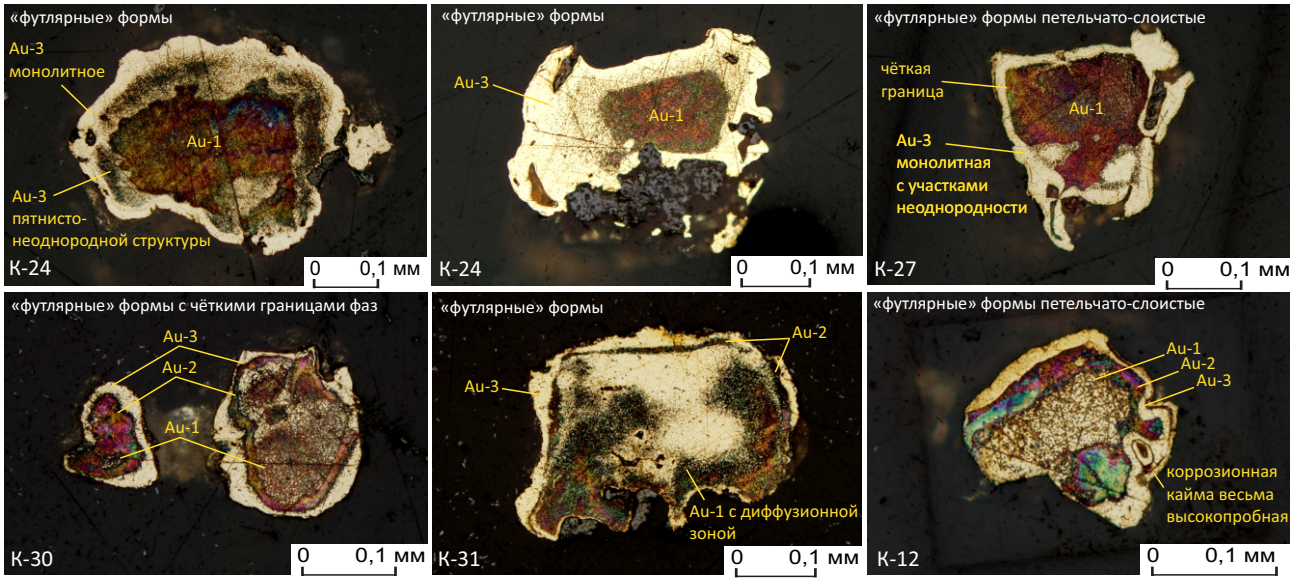


Рис. 5. «Футлярные» формы гетерофазного золота. Центральный Алдан, Верхне-Якокутское потенциальное рудное поле, участки Юрбетский (К-24, К-27), Южно-Юрбетский (К-30, К-31), Якокутский (К-12), монтир. полир. шлиф, 3 травление CrO_3 + HCl

явлено у 25 % изученных золотин, где оно отлагается по периферии Au-1 в виде сплошных или фрагментарных кайм. Границы между генерациями Au-1 и Au-2 отчётливые, редко слабо размытые (см. рис. 5).

Более существенное изменение физико-химического состояния среды, связанное с поступлением новых порций растворов иного состава, чем при образовании Au-1 и Au-2, привело к осаждению **золота третьей генерации (Au-3)** пробности 800–876 ‰ в виде самостоятельных выделений и отложению его на ранее сформированных золотинах с образованием сложных гетерофазных структур «футлярного» облика. Изменение состояния среды выразилось в появлении в строении тонкой фазовой неоднородности (рис. 5). В монозёрнах Au-3 тонкая фазовая неоднородность преобразуется в отчётливо более интенсивные структуры распада твёрдых растворов решётчатого, пластинчатого, каплевидного рисунков (рис. 6). Наиболее ярко такие структуры отмечаются в золотинах уч. Якокутский. В монозёрнах Au-3 «футлярных» форм распад твёрдых растворов проявляется в образовании относительно низкопробной петельчато-пятнисто-неоднородной внутренней и более высокопробной монолитной внешней зон (см. рис. 5). Помимо этого, посткристаллизационные преобразования приводят к возникновению в Au-3 трещин и глубоких зон дезинтеграции.

Поздняя, существенно отделённая по времени, **высокосеребристая генерация золота (Au-4) – электрум** (410–630 ‰), с повышенным содержанием изоморфной примеси Ag, зонального, пятнисто-зонального и тонконеоднородного строения – наблюдается на периферии ранее выделившихся Au-1 и Au-3 и «залечивает» в них трещины дезинтеграции, а также образует самостоятельные выделения (рис. 7).

Признаки посткристаллизационных преобразований частиц – фазовая неоднородность структуры, нарушения зональности вплоть до полной её утраты («меланжевое» строение), диффузионные зоны с пониженным содержанием серебра, линии трансляций, дезинтеграция и частичная грануляция с образованием глубоких межзёренных границ – являются отличительной особенностью золота Верхне-Якокутской грабен-впадины. Наиболее ярко они проявлены во внутреннем строении гетерофазных золотин. Более интенсивно эти признаки выражены в структуре золота уч. Юрбетский (см. рисунки 4–8).

В золотинах с диапазоном пробности 744–854 ‰ часто присутствуют микровключения теллуридов серебра (гёссита (Ag_2Te), петцита (Ag_3AuTe_2)) и галенита, что служит признаком длительности стадии гидротермально-метасоматического минералообразования по сравнению с остальными, а также может отражать её более высокую продуктивность (рис. 9).

На уч. Якокутский наличие в структуре краевых зон Au-3 признаков частичной перекристаллизации и дезинтеграции, выраженных в появлении мелкой зернистости, удлинении новообразованных зёрен и их упорядоченной ориентировке (см. рис. 6), свидетельствует о значимых воздействиях эпигенетических (температурных и, возможно, гидротермальных) процессов.

Самостоятельные обособления золота каждой из четырёх отдельных генераций, хорошо различающихся по пробности (822–856 ‰, 714–784 ‰,

Рис. 6. Монозёрна Au-3 со структурами распада твёрдых растворов (линейными, решётчатыми) и удлинёнными зёрнами, сформированными в результате частичной дезинтеграции. Центральный Алдан, Верхне-Якокутское потенциальное рудное поле, участки Якокутский (К-12), Юрбетский (К-24), монтир. полир. шлиф, 3 травление CrO_3 + HCl

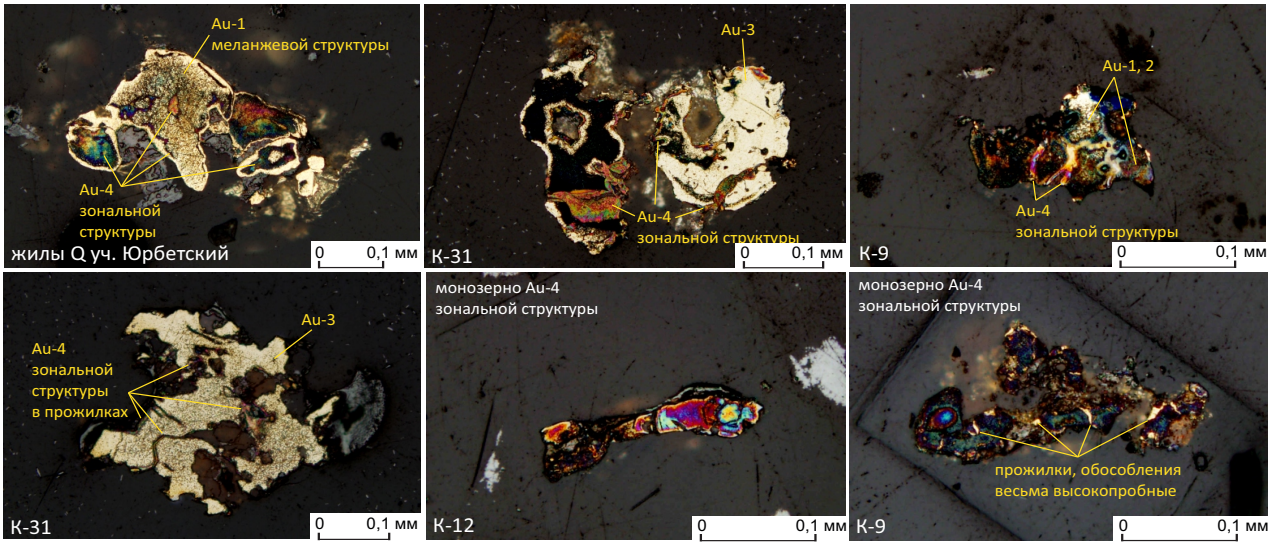


Рис. 7. Зональная структура высокосеребристого Au-4, образующего монозёрна и выполняющего глубокие трещины дезинтеграции в более раннем золоте. Центральный Алдан, Верхне-Якокутское потенциальное рудное поле, участки Юрбетский (кварцевые жилы), Южно-Юрбетский (К-31), Якокутский (К-9, К-12), монтир. полир. шлиф, 3 травление CrO_3 + HCl

487–670 ‰), встречаются не на каждом участке: монозёрна Au-1 характерны для уч. Юрбетский, Au-2 – для участков Юрбетский и Южно-Юрбетский, большое количество Au-3 и Au-4 на фоне Au-1 и Au-2 – для уч. Якокутский. Наряду со сложными гетерофазными золотинами, монозёрна свидетельствуют об условиях быстрой кристаллизации при резкой смене физико-химических параметров под влиянием геолого-структурных факторов на данном участке. При этом монозёрна высокосеребристого Au-4 показывают интенсивность заключительной стадии рудообразования уч. Якокутский с затуханием золоторудных близповерхностных процессов в пределах северо-западного фланга Верхне-Якокутской грабен-впадины.

Гипергенные преобразования золота проявлены в виде редких межзерновых весьма высокопробных (961–993 ‰) прожилков и мелких обособлений в структуре золота, а также фрагментарных зародышевых коррозионных кайм, сформировавшихся в условиях начальной стадии образования

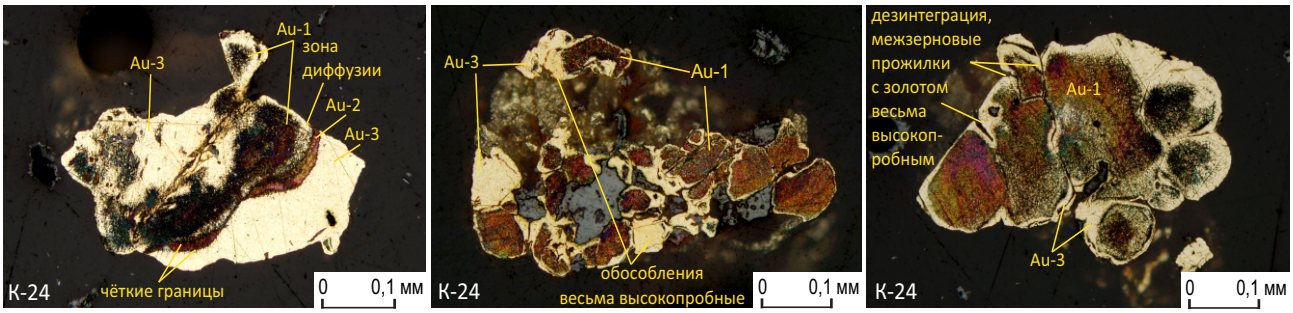


Рис. 8. Признаки посткристаллизационных преобразований в структуре гетерофазного золота – диффузионные зоны с пониженным содержанием Ag, дезинтеграция и частичная грануляция. Центральный Алдан, Верхне-Якокутское потенциальное рудное поле, участок Юрбетский (К-24), монтир. полир. шлиф, 3 травление CrO_3 + HCl

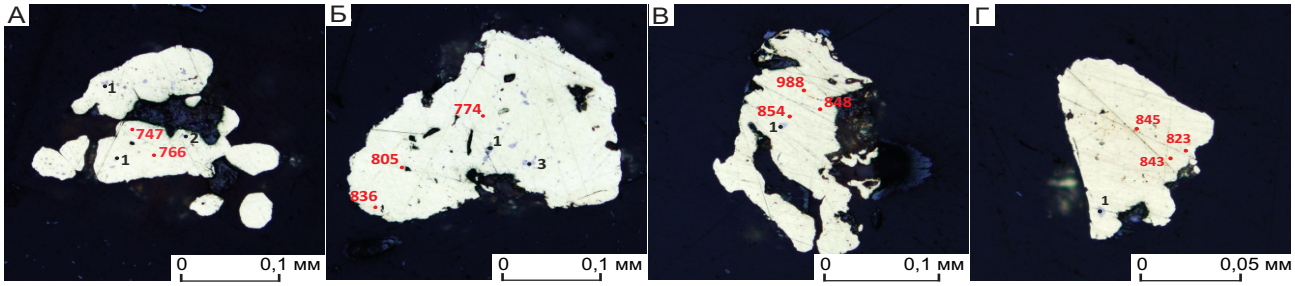


Рис. 9. Микровключения гёссита (1), петцита (2) и галенита (3) в самородном золоте разной пробности (‰) из минерализованных зон дробления уч. Южно-Юрбетский (А, Б) и окварцованных и сульфидизированных песчаников уч. Якокутский (В, Г). Центральный Алдан, Верхне-Якокутское потенциальное рудное поле. Электронное изображение монтир. полир. шлиф

коры выветривания (см. рисунки 8, 10). Более отчётливо такие изменения видны в структуре золота уч. Южно-Юрбетский.

Выявленные особенности видимого самородного золота участков (Юрбетский, Южно-Юрбетский, Якокутский) Верхне-Якокутского потенциального рудного поля приведены в таблице.

Обсуждение результатов и основные выводы. На основании полученных новых данных по типоморфизму самородного золота трёх рассмотренных участков из минерализованных зон дробле-

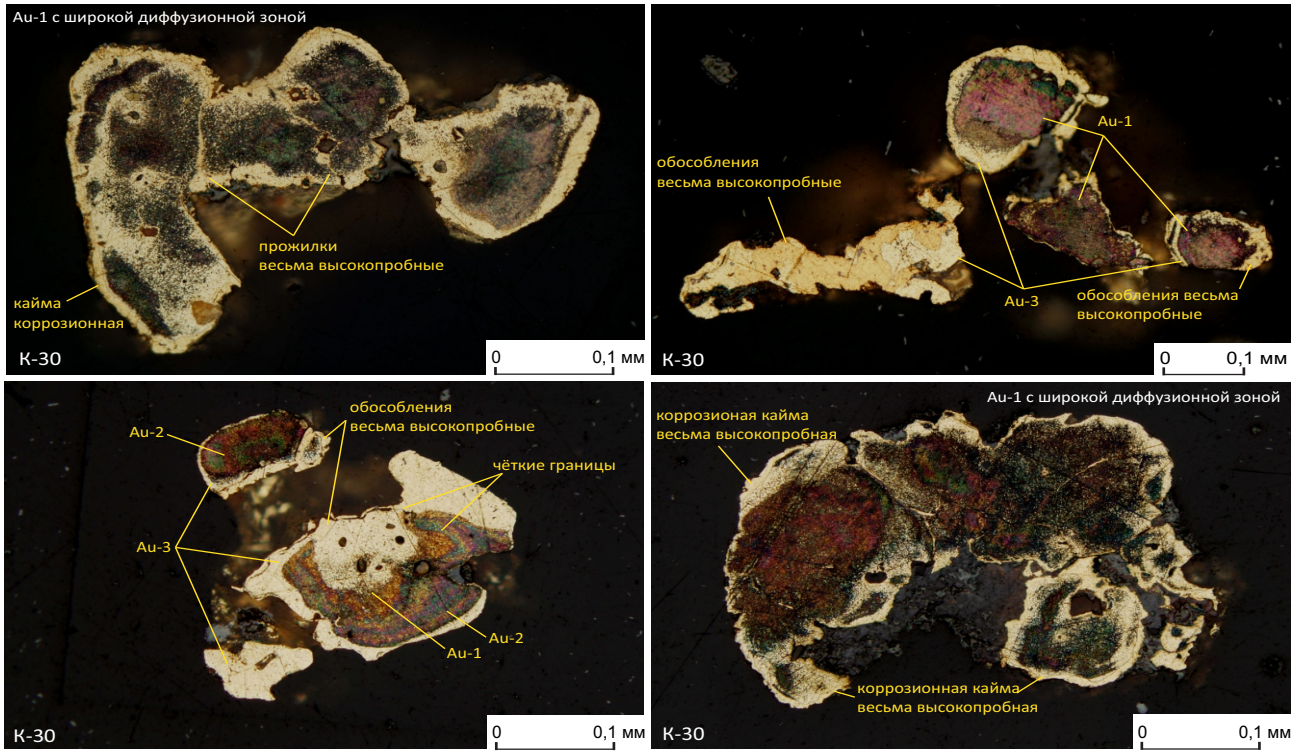


Рис. 10. Гипергенные преобразования в золоте – межзерновые прожилки, обособления и фрагментарная зародышевая коррозионная кайма весьма высокой пробности:

Центральный Алдан, Верхне-Якокутское потенциальное рудное поле, участок Южно-Юрбетский (К-30), монтир. полир. шлиф, 3 травление CrO_3 + HCl

Таблица. Признаки самородного золота и их изменчивость по трём участкам Верхне-Якокутского потенциального рудного поля

Признаки Au				Участок		
				Юрбетский	Южно-Юрбетский	Якокутский
Количество знаков Au				> 2500	209	~ 500
Размер по длинной оси, мм			**Максимально**	-1,2+0,8	+0,6	0,9
			В среднем	0,3	-0,25	0,4–0,35
Морфогенетические типы и виды	Сохранившиеся первичные формы	Правильные	Кристаллы	8		5
			Сростки кристаллов, дендритоиды	10	20	17
		Неправильные	Трещинно-прожилковые	20	13	5
			Интерстициальные	47	55	50
		Смешанные (гемиидиоморфные)		15	12	23
Окатанность	Неокатанное и плохо окатанное			100		
Цвет	Жёлтый			60–90	63–80	66–70
	Тёмно-жёлтый			25–10 до 0	25–15	34–20
	Светло-жёлтый			25–10 до 0	12–5	0–10
Характер поверхности				Бугорчатый, переходящий в ямчатый		Бугорчатый или мелко-ямчатый
Микрорельеф				Ровный мелкопористый, гладкий, со ступенями роста или ступенчато-слоистый	У огранённых кристаллов – гладкий, участками ступенчатый или щелевидно-ячеистый, у интерстициальных – дендритный	У интерстициальных – гладкий, иногда ступенчатый и комбинация пористого и оглаженного, с примятыми выступами
Коррозия / выщелачивание				Слабая и отсутствует		
Пробность в отдельных золотинах, ‰				585,0–975,5	412,0–993,4	487,7–993,5
Элементы-примеси, по РСМА				Te, спорадически – Cu, Zn, Pd, Sb, Bi, Pb, Hg, при этом в золоте из брекчий примесей больше, чем из песчаников	Te, спорадически – Cu, Zn, Pd, Sb, Bi, встречается As	Te, спорадически – Cu, Zn, Pd, Sb, Pb, Hg
Микровключения				Гёссит (Ag_2Te), петцит (Ag_3AuTe_2)	Гёссит (Ag_2Te), петцит (Ag_3AuTe_2), галенит	Гёссит (Ag_2Te)

Окончание таблицы

Признаки Au			Участок		
			Юрбетский	**Южно-Юрбетский**	**Якокутский**
Структура золотин			Золотины гетерофазного внутреннего строения, часто образуют «футлярные» формы, когда происходит последовательное обрастание одной генерации другими с петельчато-пятнисто-неоднородным рисунком. Au-1 (ранняя генерация) – неоднородная моно- или неясно-зернистая пятнисто-зональная или неясно-зональная с разной мощности диффузионными зонами, обеднёнными Ag, и приобретённая позже – «меланжевая»; Au-2 – ненарушенного тонкозонального строения по периферии Au-1 или в виде фрагментов, тяготеющих к краям; Au-3 – с тонкой фазовой неоднородностью, с трещинами дезинтеграции, часто гранулированное ; Au-4 – электрум (поздняя высокосеребристая генерация) – зональная, пятнисто-зональная и тонко-неоднородная по периферии Au-1 и Au-3 и «залечивает» трещины дезинтеграции		
	Монозёрна		Au-1 преобладает; Au-2, Au-3	Au-1, Au-2; преобладает Au-3 с отчётливыми структурами распада твёрдых растворов (решётчатыми, пластинчатыми, каплевидными)	Всех четырёх генераций, преобладают Au-3 и Au-4
	Вариации пробности, ‰	Au-1	696–760	716–774	714–784
		Au-2	Не определено, но ниже чем в Au-1		
		Au-3	801–876	800–873	822–856
		Au-4	~ 585	412–560	487–670
Сростки с кварцем			+		
Примазки, корки, плёнки гидроксидов Fe и Mn и скопления кварц-глинистых агрегатов (%)			25–60	30–35	20–55
Гипергенные преобразования			961–986 ‰, зародышевая коррозионная тонкая (1–10 мкм) кайма, межзерновые прожилки по зонам дезинтеграции, кучные скопления микронных овальных обособлений на выступах	960–993 ‰, зародышевая коррозионная тонкая кайма и редко межзерновые прожилки с микронными овальными обособлениями	960–993 ‰, зародышевая коррозионная тонкая кайма, тонкие межзерновые прожилки, точечные микронные обособления

ния, включающих разноориентированные дайки субщелочного состава, тектонические брекчии с кварцевым цементом, можно сказать, что для него характерно близкое строение и, следовательно, образование золота было связано с одними рудными процессами в пределах Верхне-Якокутского РП.

Похожие четыре генерации золота двух морфологических разновидностей несут признаки эндогенной кристаллизации ранних фаз и ассимиляции более поздними, что выражено в последовательном обрастании одной последующими с образованием чётких без размытых переходов границ и слабых изменений в гипергенных условиях с выносом серебра и образованием зародышевых коррозионных кайм, обособлений и наростов.

Выявленные признаки:

- подтверждают неоднократное внедрение субщелочных интрузивных пород и парагенетически связанных с ними рудоносных флюидов, а также длительную интенсивную гидротермально-метасоматическую проработку и дробление пород, многократное подновление разрывных дислокаций данной системы, способствующих формированию в них золотоносных гидротермально-метасоматических образований с моно- и гетерофазным золотом средне-высокопробным и более низкопробным (630–720 ‰ до электрума). Наличие монозёрен высокосеребристого самородного Au-4, характерного для низкотемпературных близповерхностных комплексов, показывает наибольшую выраженность заключительной стадии рудообразования на малых глубинах на участке Якокутский;
- свидетельствуют о многократном пульсационном характере отложения золота и его эпикристаллизационных преобразованиях в рамках двухэтапного процесса рудогенеза в условиях малых и средних глубин, отражая длительную историю эволюции рудообразующих процессов, протекающих на фоне тектонических подвижек и внедрения разновозрастных даек;
- указывают на начальную стадию преобразования золота в коре выветривания под влиянием процессов окисления и незначительные перемещения (просадка) золота по вертикали при формировании её отложений;
- показывают, что наиболее богатые на золото кварцевая и сульфидно-кварцевая минерализации на рассматриваемых участках определяются такими структурными элементами как минерализованные зоны дробления, содержащие прожилково-вкрапленное оруденение, кварцевые жилы, контакты разновозрастных даек субщелочных пород и брекчии, что подтверждает перспективность площади в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н.* [и др.] Изучение самородного золота при геологоразведочных работах. Методические рекомендации. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 74 с.
2. *Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н.* [и др.] Самородное золото рудных и россыпных месторождений России : атлас. – М. : Акварель, 2015. – 200 с.
3. *Осовецкий Б. М.* Наноскульптура поверхности золота. – Пермь : Пермский гос. нац. исследовательский университет, 2012. – 231 с.
4. *Столяренко В. В., Кряжев С. Г., Двуреченская С. С.* [и др.] Отчёт «Прогнозно-поисковые модели золоторудных объектов Томмот-Якокутской площади». – М., 2020.
5. *Столяренко В. В., Минаков А. В., Рябошапко А. Г.* [и др.] Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения в пределах мезозойских впадин в Центрально-Алданском рудно-россыпном районе (на примере Верхне-Якокутского рудного поля) // Руды и металлы. – 2022. – № 1. – С. 44–76.
6. *Столяренко В. В., Минаков А. В., Чернов Е. Е.* [и др.] Использование шлихоминералогического метода на ранних стадиях ГРР для оперативной оценки наличия крупного золота (на примере Центрального-Алданского района) // Руды и металлы. – 2019. – № 3. – С. 28–43.

REFERENCES

1. *Nikolayeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N.* [et al.] Izucheniye samorodnogo zolota pri geologo-razvedochnykh rabotakh. Metodicheskiye rekomendatsii [Study of native gold in geological exploration. Methodical recommendations], Moscow, TSNIGRI publ., 2023, 74 p. (In Russ.)
2. *Nikolayeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N.* [et al.] Samorodnoye zoloto rudnykh i rossypnykh mestorozhdeniy Rossii : atlas [Native gold of ore and placer deposits of Russia: atlas], Moscow, Akvarel publ., 2015, 200 p. (In Russ.)
3. *Osovetskiy B. M.* Nanoskulptura poverkhnosti zolota [Nanosculpture of gold surface], Perm, Permskiy gos. nats. issledovatelskiy un-t publ., 2012, 231 p. (In Russ.)
4. *Stolyarenko V. V., Kryazhev S. G., Dvurechenska S. S.* [et al.] Otchot "Prognozno-poiskovyye modeli zolotorudnykh obyektov Tommot-Yakokutskoy ploshchadi" [Report "Prospecting and exploration models of gold ore objects of the Tommot-Yakokutskaya area"], Moscow, 2020. (In Russ.)
5. *Stolyarenko V. V., Minakov A. V., Ryaboshapko A. G.* [et al.] Prognozno-poiskovaya model zolotogo orudeneniya v predelakh mezozoyskikh vpadin v Tsentralno-Aldanskom rudno-rossypnom rayone (na primere Verkhne-Yakokutskogo rudnogo polya) [Prognostic and prospecting model of gold mineralization within the Mesozoic depressions in the Central Aldan ore-placer region (using the Verkhne-Yakokutsky ore field as an example)], Rudy i metally, 2022, No. 1, pp. 44–76. (In Russ.)
6. *Stolyarenko V. V., Minakov A. V., Chernov E. E.* [et al.] Ispolzovaniye shlikhomineralogicheskogo metoda na rannikh stadiyakh GRR dlya operativnoy otsenki nalichiya krupnogo zolota (na primere Tsentralnogo-Aldanskogo rayona) [Use of the shlichomineralogical method at the early stages of exploration for the rapid assessment of the presence of large gold (using the Central-Aldan region as an example)], Rudy i metally, 2019, No. 3, pp. 28–43. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 24.03.25; одобрена после рецензирования 21.04.25; принята к публикации 21.04.25.
The article was submitted 24.03.25; approved after reviewing 21.04.25; accepted for publication 21.04.25.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1