



## Эволюция источников золота в процессе формирования золоторудных месторождений (на примере Восточной Якутии)

А. В. Кокин<sup>1</sup>, Р. В. Кравцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Российский институт управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы (РАНХиГС), Ростов-на-Дону, [avkokin.ru](mailto:avkokin.ru)  
<sup>2</sup> ООО «СИБ Индустрия» ООО «ФАРТ», Якутск, [kravtru@gmail.com](mailto:kravtru@gmail.com)

В отличие от установившихся представлений о связи золотого оруденения с каким-либо конкретным источником предлагается модель эволюции разных источников при формировании геологических структур восточного обрамления Сибирской платформы. Модель основана на расчёте региональных кларков осадочных, изверженных пород и минералов с выделением стратиграфических уровней первичного обогащения золота в осадочных породах. Устанавливается полиэтапность и полистадийность эволюции источников вследствие перераспределения золота в составе осадочных пород и минералов под влиянием разных эндогенных агентов теплопереноса. Главным условием локализации золотого оруденения в регионе является наличие уровней первичных надкларковых концентраций золота в турбидитах  $R_3$ ,  $C_3-P_1$ ,  $T_3$  дельтовых фаций подводных склонов. Основными концентраторами золота в осадках являются марказит и пирит. Под влиянием разных агентов теплопереноса золото перераспределяется по фронту теплового потока, формируя зоны рассеянной минерализации с высокими его содержаниями в пирите и арсенопирите. Затем в условиях поздних наложенных гидротермально-метасоматических процессов золотоносные пириты и арсенопириты освобождаются от большей части золота, которое появляется в составе руд позднего этапа рудообразования в форме видимых золотин.

**Ключевые слова:** Восточная Якутия, эволюция источников золота, региональные кларки пород и минералов-концентраторов золота.

## Evolution of gold sources in the process of formation of gold deposits (evidence from Eastern Yakutia)

A. V. Kokin<sup>1</sup>, R. V. Kravtsov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> South Russian Institute of Management of the Russian Academy of National Economy and Public Administration (RANEPА), Rostov-on-Don  
<sup>2</sup> ООО "SIB Industry" ООО "FART", Yakutsk

In contrast to the established ideas about the relationship of gold mineralization with any specific source, a model is proposed for the evolution of different sources during the formation of geological structures in the eastern framing of the Siberian Platform. The model is based on the calculation of regional clarkes of sedimentary, igneous rocks and minerals with the allocation of stratigraphic levels of primary gold enrichment in sedimentary rocks. The poly-stage and multi-stage nature of the evolution of sources is established through the redistribution of gold in the composition of sedimentary rocks and minerals under the influence of various endogenous heat and mass transfer agents, in particular, under the influence of carbonatites. The main condition for the localization of gold mineralization in the region is the presence of levels of primary supraclarkes gold concentrations in turbidites  $R_3$ ,  $C_3-P_1$ ,  $T_3$  of the deltaic facies of submarine slopes. The main gold concentrators in sediments are marcasite and pyrite. Under the influence of various heat and mass transfer agents, gold is redistributed along the heat flow front, forming zones of dispersed mineralization with its high contents in pyrite and arsenopyrite. Then, under the conditions of late superimposed hydrothermal-metasomatic processes, gold-bearing pyrites and arsenopyrites are released from most of the gold, which appears in the composition of ores of the late stage of ore formation in the form of visible gold particles.

**Keywords:** Eastern Yakutia, evolution of gold sources, regional clarkes of rocks and gold-concentrating minerals.

### Введение

Выяснение источника золота при образовании конкретного золоторудного месторождения — это не столько научная проблема, сколько практическая, позволяющая эффективно направлять поисковые работы и давать оценку перспективы изучаемых рудных объектов. Однако познание природы источников металлов в рудных месторождениях [8, 10, 14, 15] представляет собой именно комплексную научную проблему, охватывающую историю не только геологических структур, но и осадочных, включая углеродистые [1, 4,

7, 11, 12], и изверженных горных пород, метаморфизма, метасоматизма и гидротермальной деятельности. На примере Восточной Якутии авторы поставили задачу исследовать механизмы неоднократного перераспределения золота в породах и минералах в ходе всей истории образования золоторудных месторождений. Тем самым представляется возможность показать эволюционную природу источников золота, охарактеризовать закономерности их изменения во времени в зависимости от состава рудовмещающей среды и наложенных процессов теплопереноса.

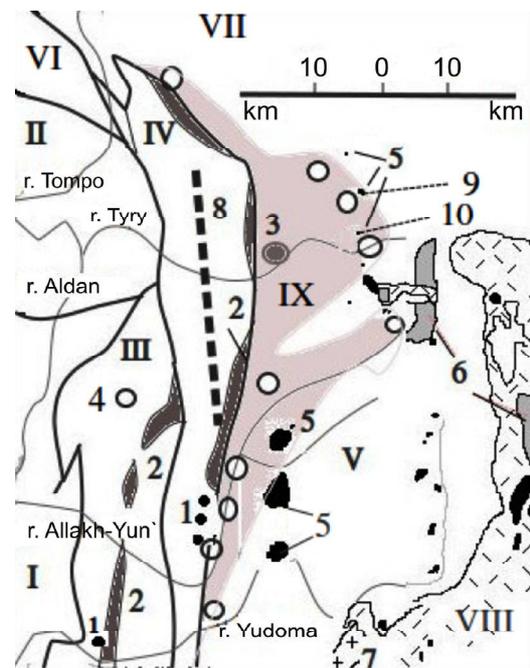
**Для цитирования:** Кокин А. В., Кравцов Р. В. Эволюция источников золота в процессе формирования золоторудных месторождений (на примере Восточной Якутии) // Вестник геонаук. 2022. 10(334). С. 23–35. DOI: 10.19110/geov.2022.10.3

**For citation:** Kokin A. V., Kravtsov R. V. Evolution of gold sources in the process of formation of gold deposits (evidence from Eastern Yakutia). 2022, 10(334), pp. 23–35, doi: 10.19110/geov.2022.10.3

В пределах Юго-Восточной Якутии в геологических структурах (рис. 1) известны следующие минеральные типы золоторудных месторождений, проявлений и точек минерализации: золотопиритовый (зачастую наиболее ранний в полиэтапных и полистадийных месторождениях); золото-пирит-арсенопиритовый; золотосульфотеллуридный (золото-вольфрам-висмут-теллуридный); золото-сфалерит-галенитовый; золотосульфоантимонитовый; золотосеребряный. Формирование этих типов традиционно объясняется генетической связью или с позднедевонскими изверженными породами основного состава (Сетте-Дабанский антиклинорий), или с меловыми ( $K_1$ – $K_2$ ) магматитами среднекислого состава, залегающими в терригенном и вулканогенном комплексах Южно-Верхоянского синклиория. В последнее время обсуждается связь золотого оруденения с карбонатитами, локализованными в терригенном верхоянском комплексе.

Пространственная зональность распределения минеральных типов месторождений в направлении от кислых интрузий во вмещающие осадочные породы (на примере дифференцированного Дыбинского массива гранодиоритов  $K_1$ – $K_2$ ) определяется следующей последовательностью: золотосульфотеллуридный → золото-пирит-арсенопиритовый → золото-галенит-сфалеритовый → сульфоантимонитовый. Для Курумского дифференцированного массива гранодиоритов аналогичная последовательность типов имеет вид: золотовольфрамовый → золотосульфотеллуридный → золото-пирит-арсенопиритовый. Подобные пространственные неоднородности золоторудной минерализации, сопряженные с кислым магматизмом, многими геологами однозначно воспринимаются как парагенетические или даже генетические. Хотя некоторые месторождения и рудопроявления золота в чёрносланцевых толщах  $C_3$ – $P_1$  в Аллах-Юньском золотоносном районе, включая стратифицированную мало-сульфидную золотокварцевую минерализацию на месторождениях Юр, Булар, Бриндакит, Оночах и др. [7], не имеют даже отдаленной пространственной связи с магматизмом. Не устанавливается также пространственная связь с магматизмом и для золоторудной минерализации в некоторых месторождениях и проявлениях Верхне-Индибирского золотоносного района, локализованных в турбидитах  $T_3$  (месторождение Бадран, Танинское и др.). Золоторудная минерализация на территории Сетте-Дабанского антиклинория связана лишь с меловыми продуктами гидротермально-метасоматических изменений позднедевонских долеритов. С другими магматическими образованиями на рассматриваемой территории, за исключением вулкаников Охотского комплекса, пространственная связь золотого оруденения также не выявлена.

Более поздние исследования, однако, показали, что в случае приуроченности гранитоидов к терригенным толщам  $C_3$ – $P_1$  в Аллах-Юньском или  $T_3$  в Верхне-Индибирском районах, отличающимся от всех других частей разреза верхоянского комплекса надкларковыми содержаниями золота [4, 7, 9], все-таки появляется некоторая пространственная связь (сонахождение) золоторудной минерализации разных минеральных типов с магматитами. Это расценивается нами как парагенетическая связь золотого оруденения с гранитоидами, возникшая здесь вследствие мобилизации зо-



**Рис. 1.** Геолого-структурная позиция региона: I – Сибирская платформа (СП); II – Предверхоянский краевой прогиб; III – Кыллахское поднятие (КП); IV – Сетте-Дабанский антиклинорий (СДА); V – Южно-Верхоянский синклиорий (ЮВС); VI – Бараинский антиклинорий (БА); VII – Сартанский синклиорий (СС); VIII – Охотский вулканогенный пояс; IX – область развития терригенных пород  $C_3$ – $P_1$  с надкларковыми содержаниями золота: 1 – штоки, массивы ультраосновных щелочных пород и карбонатитов  $\epsilon$ – $D_3$ ; 2 – силлы, дайки долеритов  $D_3$ ; 3 – Амурский карбонатный шток (диапир)  $K_1$ ; 4 – золоторудное месторождение, локализованное среди черносланцевой толщи пионерской свиты  $R_3$  рп. Подобные значки без номеров на рисунке – золоторудные месторождения, локализованные в терригенном верхоянском комплексе  $C_3$ – $P_1$  с надкларковыми содержаниями золота; 5 – массивы, штоки гранитоидов  $K_1$ – $K_2$ ; 6 – субвулканы и вулканические купола кислого состава  $K_1$ – $K_2$ ; 7 – комплексы раннедокембрийского фундамента континентальной земной коры; 8 – гидротермально-метасоматически изменённые золотоносные дайки долеритов  $D_3$ ; 9 – дифференцированный Дыбинский массив гранодиоритов  $K_1$ – $K_2$ ; 10 – дифференцированный Курумский массив гранодиоритов

**Fig. 1.** Geological and structural position of the region: I – Siberian platform (SP); II – Pre-Verkhoyansk marginal trough; III – Kyllakh uplift (KP); IV, Sette-Daban anticlinorium (SDA); V – South Verkhoyansk synclinorium (SWS); VI – Barainsky anticlinorium (BA); VII – Sartan synclinorium (SS); VIII – Okhotsk volcanogenic belt; IX – area of development of  $C_3$ – $P_1$  terrigenous rocks with supraclark gold grades: 1 – stocks, massifs of ultramafic alkaline rocks and carbonatites  $\epsilon$ – $D_3$ ; 2 – sills, dolerite dikes  $D_3$ ; 3 – Amur carbonatite stock (diapirs)  $K_1$ ; 4 – gold deposit localized among the black shale sequence of the Pionerskaya suite  $R_3$  рп. Similar symbols without numbers in the figure are gold deposits localized in  $C_3$ – $P_1$  terrigenous Verkhoyansk complex with supraclark gold grades; 5 – massifs, stocks of granitoids  $K_1$ – $K_2$ ; 6 – subvolcanoes and volcanic domes of acid composition  $K_1$ – $K_2$ ; 7 – complexes of the Early Precambrian basement of the continental crust; 8, hydrothermally-metasomatically altered gold-bearing dolerite dikes  $D_3$ ; 9 – differentiated Dybinsk massif of granodiorites  $K_1$ – $K_2$ ; 10 – differentiated Kurum massif of granodiorites



лота из некоторых терригенных пород верхоянского комплекса.

Термин «сонахождение» автор использует сознательно, опираясь на представления академика В. М. Севергина [13] о совместном присутствии минералов, пород и руд в составе различных по составу тел без их генетической привязки к чему-либо конкретному [2]. В таких ситуациях можно говорить лишь о пространственной связи оруденения с вмещающими породами, а вот факт генетической связи надо доказывать. Последняя может оказаться рассредоточенной – детерминированной во времени, т. е. формирующейся постепенно в изменяющейся окружающей геологической среде под влиянием наложенных физико-химических и геохимических процессов с чередованием процессов рассеяния и концентрации золота на уровне как горных пород, так и минералов. Возникающая при этом пространственная связь золотого оруденения с конкретными геологическими субстратами может оказаться вовсе и не связью, а случайным сближением в пространстве – парастерезисом по В. М. Севергину, а не парагенезисом по А. Брейтгаупту [20].

### Методика исследований

Методика основана на изучении концентраций химических элементов в осадочных и магматических породах относительно кларков земной коры, региональных кларков, образовавшихся в исторических условиях формирования геологических структур региона. С этой целью в ходе геологического картирования и доизучения в масштабе проводились петрохимические, физико-механические (плотность, пористость, объёмный вес) и геохимические исследования разрезов осадочных, метаморфических и изверженных пород (количественный спектральный, спектрохимический и нейтронно-активационный анализы горных пород, руд и минералов); пробирный анализ золота в процессе геологического картирования и доизучения в масштабе 1 : 200 000 – 1 : 50 000. Рассчитывались региональные кларки (геофон) элементов в горных породах и минералах в рамках разных по строению и возрасту региональных геологических структур Восточной Якутии.

### Результаты исследований

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

В разрезах некоторых осадочных и изверженных пород на территориях Кыллахского поднятия, Сетте-Дабанского антиклинория и Южно-Верхоянского синклинория по сравнению с кларками земной коры установлены повышенные концентрации многих химических элементов. Здесь к определенным стратиграфическим уровням приурочена рудная минерализация, прямо коррелирующаяся по важнейшим элементам с надкларковым обогащением этими элементами вмещающих горизонтов осадочных пород (коллекторов). Так, подавляющее большинство золоторудных месторождений пространственно тяготеет к турбидитам или так называемым чёрным сланцам разного возраста с прослоями кварц-полевошпатовых песчаников (табл. 1). При этом золотые руды в виде пластовых или секущих тел

чаще тяготеют к границам алевритовых и песчаных прослоев. Строение турбидитов соответствует последовательности А. Бума [19]. Тонкослоистые градационные алевриты обычно представлены тонкозернистыми турбидитами и гемипелагитами подводного склона и/или его подножия [3] и описываются в единицах измерения стоун [21]. Как правило, породы в этом случае превышают кларк земной коры в 1.5–5 раз и достигают концентраций золота от 6 до 25 мг/т.

Средняя пробность золотин в рудах и россыпях, локализованных в толщах с надкларковыми содержаниями золота, закономерно понижается от древних к молодым складчатым структурам. Есть, однако, и исключения из этого правила, когда золото пространственно связано с карбонатным штоком (Амурское золоторудное и россыпное проявление среди турбидитов раннепермского возраста), но локализовано в терригенной толще ранней перми с надкларковыми концентрациями золота. В этих случаях пробность золотин аномально высокая, 890–990 ‰, против золота в месторождениях Аллах-Юньского золотоносного района с пробой 780–830 ‰.

Анализ высоких региональных минеральных кларков выявляет аналогичную закономерность их связи практически с теми же надкларковыми концентрациями элементов в осадочных породах [4], что может свидетельствовать о сходной причине происхождения аномалий. Из этого следует, что золотое оруденение имеет сложный механизм образования, обусловленный эндогенно стимулированным теплопереносом в условиях длительного взаимодействия магматических и осадочных горных пород при формировании геологических структур. При этом основным и самым распространённым концентратором золота в породах являются слюды, марказит, пирит, пирротин, а в рудах – преимущественно пирит, арсенопирит, в меньшей степени халькопирит, блеклые руды, сфалерит, галенит. Из нерудных (жильных) минералов главным концентратором золота в составе руд является кварц ранних стадий минерализации с последующим резким уменьшением содержания золота и золотосеребряных соотношений в более поздних генерациях кварца.

В составе осадочных пород верхоянского терригенного комплекса ( $C_3$ – $P_1$ ,  $T_3$ ) региональный кларк марказита (в зависимости от возраста толщи или пачки) варьируется от 0.4 до 4 г/т. В процессе перекристаллизации марказита в пирит за пределами рудных проявлений и месторождений золота под влиянием регионального метаморфизма [1] происходит первичное обогащение золотом тонко рассеянного в осадочных породах пирита до 12–34 г/т, иногда до 340 г/т (дорудная стадия). Примером этого могут служить Неждановское рудное поле, рудные поля Бадрана, Юра, Бриндакита, Булара, Оночалаха [6, 7, 9]. Такой пирит при перекристаллизации с укрупнением кристаллов в ходе контактово-местасоматических изменений осадочных пород в зонах дробления теряет золото до содержания в пределах 10–35 г/т. Высвобожденное золото укрупняется и концентрируется в новообразованных жильных телах. Содержания золота в позднем кварце сокращаются до 0.2 г/т против 1.2–4 г/т в раннем кварце.

Таким образом, эволюция золотого рудообразования охватывает разные стадии преобразования вме-

щающих осадочных пород, исходно отличающихся повышенным региональным кларком золота и соответствующим обогащением золотом кварца и первичных сульфидов. Высвобождающееся в ходе наложенных эндогенных процессов золото концентрируется в более поздних жильных телах в самородной форме с ростом его содержания до 6–40 г/т, а в бананцах и более того. Состав элементов-примесей в новообразованном самородном золоте совпадает с составом сидерохалькофильных элементов во вмещающих осадочных породах [18], что косвенно подтверждает статус последних как одного из первосточников золота.

Толщи с надкларковыми содержаниями в них золота, иногда углерода, а также сопутствующих золоту металлов: Mn, Fe, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb — могут быть разного возраста — от  $R_3$  (Кыллахское поднятие) до  $C_3$ – $P_1$  (Южно-Верхоянский терригенный комплекс) и далее до  $T_3$  (Сартанский синклиорий). Но их формирование чаще всего связано с турбидитами подводного склона дельтовых фаций. Сквозным элементом золоторудных месторождений является мышьяк, а минералами-концентраторами — пирит и арсенопирит. Форма нахождения золота в осадках (особенно на границе алевролитов и песчаников), сформированных в восстановительных условиях, до сих пор плохо изучена. Предполагается, что тонкое золото в осадочных породах связано органическим веществом, а в аутигенных марказите и пирите оно локализуется на дефектах их кристаллической структуры. В условиях наложения метасоматических и гидротермальных стадий золото укрупняется и выделяется в форме собственных частиц разного размера сначала в зернах перекристаллизованного пирита, а затем в новообразованных сульфидах — преимущественно в арсенопирите. Позже такое золото перегруппировывается в кварц поздних гидротермальных стадий.

Как правило, алевролиты содержат тонкорассеянный марказит, а нередко и его линзовидные прослои и гнезда до 5–7 см размером. Марказит также отличается повышенным региональным кларком золота и сопутствующих ему элементов-примесей, влияя на образование надкларковых концентраций, как во вмещающих породах, так и в рудах, косвенно подтверждая вероятность первичного источника золота именно во вмещающих осадочных породах.

Обогащение золотом осадочных пород может быть обусловлено денудацией золотосодержащих субстратов более древних эпох, например конгломератов в составе разновозрастных толщ [14, 17]. По этой причине нельзя отрицать вероятность его попадания в состав турбидитов Южно-Верхоянской синеклизы и Сартанского синклиория (рис. 1) из подстилающих комплексов раннедокембрийского фундамента. Золото как сидерохалькофильный элемент [18] накапливается в осадках в восстановительных условиях, сначала концентрируясь в марказите (региональный кларк золота в марказите 4.5 г/т). Затем в условиях регионального метаморфизма марказит переходит в тонко рассеянный золотосодержащий пирит-1 (месторождения Нежданское [16], Юр, Бриндакит, Оночалах, Кеннэ, Бадран и др.). Как было впервые установлено геологами М. К. Силичевым и Н. В. Белозерцевой на Нежданском золоторудном месторождении, содержания золота в таком пирите уже достигает 30–45 г/т.

В пирите-2 и арсенопирите-1 из наложенных гидротермально-метасоматических образований содержания золота достигают 200–360 г/т и более. В пирите-3 и арсенопирите более поздних секущих, пологосекущих и субсогласных минерализованных зон дробления и гидротермально-метасоматических изменений содержание золота, напротив, снижается почти на порядок. Высвобожденное из сульфидов, оно появляется в виде обособленных золотин в тонких кварцевых прожилках и более мощных жилах (кварц-1).

По фронту движения магматических расплавов разного состава под влиянием физико-химических процессов и контаминации может происходить обогащение золотом изверженных пород. Из этого следует, что золото в изверженных породах не является первоисточником для руд. Таким первоисточником могут выступать первично обогащенные золотом осадочные породы, подвергшиеся эндогенному энергетическому воздействию с последующей перегруппировкой золота и переотложением его в метасоматиты и гидротермальные жилы.

Из вышеизложенного следует, что задача определения источников золота и сопутствующих ему элементов не может быть решена однозначно отождествлением его с каким-то одним конкретным геологическим агентом. Формирование такой связи — многостадийный, а может быть и полиэтапный процесс преобразования осадочных пород и минералов под воздействием эндогенных факторов в золотосодержащие руды путем перегруппировки и вторичного концентрирования изначально надкларковых содержаний. Следовательно, мы опять возвращаемся к проблеме так называемых первичных ореолов в составе золоторудных месторождений, которые могут оказываться не ореолами рассеяния, как это трактовали Л. Н. Овчинников и С. В. Григорян, а ореолами начавшейся сегрегации.

Проиллюстрируем выдвинутую идею примером внедрения **Амурского карбонатного штока** мелового возраста в терригенную толщу  $P_1hl_{1-2}$ , обогащенную надкларковыми содержаниями золота. Как известно, многими исследователями пространственная и парагенетическая связь золоторудного оруднения с этим штоком отрицается. Считается, что в пределах Кыллахского поднятия и Сетте-Дабанского антиклинория с ним пространственно связаны только фосфатная и редкометалльно-редкоземельная минерализации, локализованные в окружающих терригенно-карбонатных, карбонатно-терригенных и терригенных породах с возрастом от позднего рифея до раннего палеозоя. При этом содержание золота в этих породах варьируются в пределах 2–3.5 мг/т, что ниже кларка земной коры. Проведенные нами исследования показали следующее.

Амурский карбонатный шток располагается в бассейне руч. Амурского на развилке истоков руч. Тим и Тик (бассейн р. Тыры — правого притока р. Алдан). Геологически эта территория относится к зоне сочленения субмеридионального и северо-восточного разломов. Шток вскрыт в своей апикальной части (рис. 2), где он приподнимает и разрушает осадочные породы бонсолчанской свиты, образуя подобие сильнодислоцированной мелкой антиклинали. По мнению авторов статьи, это классический карбонатный диапир [5], внедрившийся по зоне глубинного субмеридионального



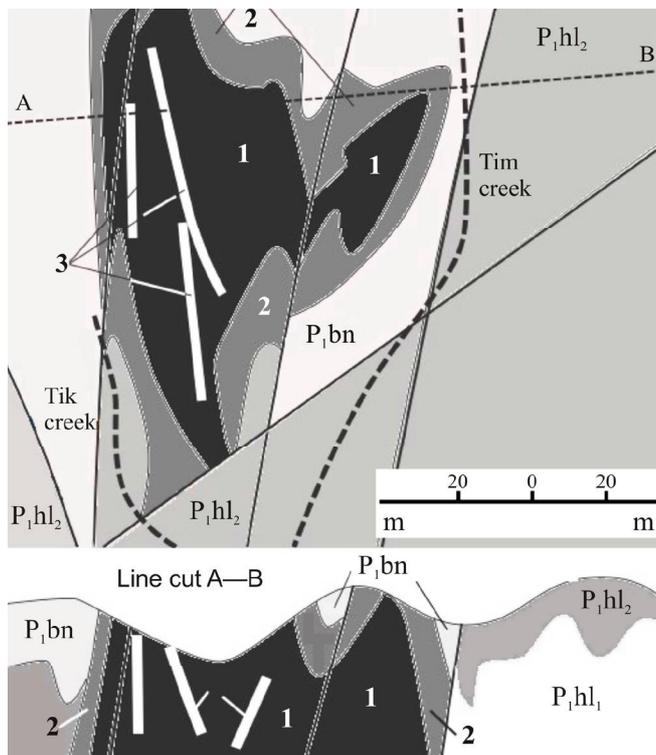
**Таблица 1.** Пространственная связь золотого оруденения в складчатых структурах Восточной Якутии  
**Table 1.** Spatial relationship of gold mineralization in folded structures of Eastern Yakutia

Магматические и осадочные породы Igneous and sedimentary rocks	Кыллахское поднятие (КП) Kyllakh uplift	Сетте-Дабанский антиклинорий (СДА) Sette-Daban anticlinorium	Южно-Верхоянский (ЮВС) и Сартангский синклинории (СС) South Verkhoyansk and Sartang synclinorium
Ультраосновные щелочные магматиты $\epsilon$ – $D_3$ , карбонатиты Ultramafic alkaline magmatites $\epsilon$ – $D_3$ , carbonatites	Пространственная связь магматитов с золотой минерализацией не наблюдается Spatial relationship of magmatites with gold mineralization is not observed	Надкларковые концентрации Supraclarke concentrations of Ni, Fe, Mn, Co, Zn, Cu, Ge, U, Th, Y, Ce, La	Наблюдается пространственная связь золота с карбонатным штоком ручья Амурского, $K_1$ . Надкларковые концентрации Ca, Mg, Fe, Mn, Co, Sn, S Spatial relationship of gold with the carbonate stock of the Amursky stream, $K_1$ , is observed. Supraclarke concentrations of Ca, Mg, Fe, Mn, Co, Sn, S
	Надкларковые концентрации Supraclarke concentrations of Ni, Fe, Mn, Co, Zn, Cu, Ge, U, Th, Y, Ce, La		
Основные магматиты Basic magmatites $R_3$ – $\epsilon$	Пространственной связи магматитов с золотой минерализацией не наблюдается Spatial relationship of magmatites with gold mineralization is not observed		Основной магматизм отсутствует No basic magmatism
	Надкларковые концентрации Supraclarke concentrations of Ni, Fe, Zn, Cu, Ge, Hg		
Основные магматиты $D_3$	Пространственной связи магматитов с золотой минерализацией не наблюдается Spatial relationship of magmatites with gold mineralization is not observed	Надкларковые концентрации B, Ni, Fe, Mn, [Co, Zn, Cu, Au, Ag, [S, Pb]. В гидротермально-метасоматически измененных долеритах Supraclarke concentrations of B, Ni, Fe, Mn, [Co, Zn, Cu, Au, Ag, [S, Pb]. In hydrothermal-metasomatically altered dolerites	Основной магматизм отсутствует No basic magmatism
Средние магматиты Medium magmatites $J_3$ – $K_1$	Магматизм отсутствует No magmatism		Пространственная связь только предполагается. Надкларковые концентрации Spatial connection is only assumed. Supraclarke concentrations of S, As, Pb
Кислые магматиты Acid magmatites $K_1$ – $K_2$	Магматизм отсутствует No magmatism		Пространственная связь золотой минерализации наблюдается только с терригенными породами $C_3$ – $P_1$ . Надкларковые концентрации B, Co, As, S, Pb, Ag, Te, Bi, Sb Spatial relationship of gold mineralization is observed only with terrigenous rocks $C_3$ – $P_1$ . Supraclarke concentrations of B, Co, As, S, Pb, Ag, Te, Bi, Sb
Черносланцевые (углеродные) толщи Black shale (carbon) sequences	Связь с чёрными сланцами на уровне $R_3$ , а также, вероятно, на уровне $\epsilon_1$ . Надкларковые концентрации в породах $R_3$ –Au, Cu, Pb, Zn, C; в породах $Cm_1$ – Au, Co, Cu, Pb, Zn, (Hg), C, Pt Relationship with black shales at $R_3$ level, and probably also at $\epsilon_1$ level. Supraclarke concentrations in rocks $R_3$ –Au, Cu, Pb, Zn, C; in rocks $Cm_1$ – Au, Co, Cu, Pb, Zn, (Hg), C, Pt		Среди черносланцевых толщ $C_3$ – $P_1$ с надкларковыми концентрациями Co, Cu, S, As, Au, Pb, Ag Among black shale sequences $C_3$ – $P_1$ with supraclarke concentrations of Co, Cu, S, As, Au, Pb, Ag

разлома и прорвавший в период складчатости терригенную толщу верхоянского комплекса. Источником диапира послужили подстилающие терригенную толщу достаточно пластичные терригенно-карбонатные и карбонатные породы девона-карбона. В составе карбонатного диапира выделяются ранние брекчиевидные от крупно-среднезернистых до тонкозернистых карбонатные породы и более поздние пегматитовидные карбонат-кварцевые жилы (табл. 2).

Карбонатные породы штока-диапира [10] представлены массивными разнозернистыми доломито-анкеритами, содержащими рассеянную вкрапленность

(до 5–10 %) пирита, и брекчиями карбонатного состава с вкрапленностью до 5–20 % мелкозернистого пирита, образованными за счет вмещающих пород. Тело штока пронизано поздними кварц-карбонатными жилами мощностью до 2 м, в которых доля вкрапленного пирита может достигать 20 %. Редкими минералами являются галенит и сфалерит. Карбонатные жилы содержат субкларковые содержания Y (до 6 г/т) и Yb (до 0.8 г/т), а в брекчиях установлены Nb (1.9 г/т), Ta (0.46 г/т), La (0.05 г/т) и церий (22 г/т). Надкларковые концентрации Ti, V, Co, Ni, Mn в пирите мелкозернистых массивных карбонатитов могут свидетельство-



**Рис. 2.** Карбонатный шток (диапир) среди терригенных пород ранней перми [10]. Вмещающие породы: P<sub>1</sub>hl<sub>1</sub> — хальинская свита, нижняя подсвита; P<sub>1</sub>hl<sub>2</sub> — верхняя подсвита, алевролиты с прослоями песчаников, с линзами и включениями пирита-марказита; P<sub>1</sub>bn — бонсолчанская свита, тонкозернистые глинистые алевролиты с редкими прослоями песчаников. 1 — карбонатный шток (диапир), J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub>; 2 — пиритизированные контактово-метасоматические образования за счет осадочных пород, обогащенные золотом; 3 — слабозолотоносные карбонат-кварцевые жилы в составе карбонатного штока. Сплошные линии — разломы верхоянской субмеридиональной и сунтарской северо-восточной систем

**Fig 2.** Carbonate stock (diapir) among terrigenous rocks of the Early Permian [10]. Host rocks: P<sub>1</sub>hl<sub>1</sub>, Khalyin Formation, lower subformation; P<sub>1</sub>hl<sub>2</sub> — upper subformation, siltstones with sandstone interlayers, with lenses and inclusions of pyrite-marcasite; P<sub>1</sub>bn, Bonsolchan Formation, fine-grained argillaceous siltstones with rare sandstone interbeds. 1 — carbonate stock (diapiric), J<sub>3</sub> — weakly gold-bearing carbonate-quartz veins within a carbonate stock. Solid lines are faults of the Verkhoyansk submeridional and Suntar northeastern systems

**Таблица 2.** Формульный состав доломито-анкернитовых карбонатов в Амурском штоке и кларки микроэлементов в пирите

**Table 2.** Formula composition of ankernite carbonates in the Amur stock and clarkes of trace elements in pyrite

Разновидности карбонатитов Varieties of carbonatites		Количество анализов Number of analyzes	Эмпирические формулы карбонатов Empirical formulas of carbonates										
Пегматоидные / Pegmatoid		8	$(Ca_{0.98}Mn_{0.02})(Mg_{0.79}Fe_{0.21})(CO_3)_2$										
Брекчиевые / Breccia		10	$(Ca_{0.99}Mn_{0.01})(Mg_{0.8}Fe_{0.2})(CO_3)_2$										
Средние концентрации элементов-примесей в пирите карбонатитов, г/т (n = 35)* Average concentrations of impurity elements in carbonatite pyrite, g/t (n = 35)*													
Ti	V	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Pb	Sn	Cr	Mn	Au
556	7	35	52	16	47	45	1.1	0.12	16	60	3	558	0.4
Региональные минеральные кларки пирита (n = 386) Regional mineral clarkes of pyrite (n = 386)													
300	5	20	28	100	125	1443	0.5	11	500	60	3	120	4

\* Спектральный анализ. Пробирный анализ дал более 1 г/т валового содержания золота, по данным спектрохимического анализа — менее 1 г/т.

\* Spectral analysis. Assay analysis gave more than 1 ppm of gross grade gold, according to spectrochemical analysis — less than 1 ppm.

вать об участии в их составе глубинного вещества. Остальные халькофильные элементы, часто ассоциирующиеся с золоторудными минерализациями, в составе пирита в карбонатном штоке демонстрируют концентрации ниже региональных кларков. Это косвенно свидетельствует о том, что породы штока не могли быть источником золотого оруденения.

Карбонатные брекчии, судя по составу и строению, образовались за счет терригенно-карбонатных пород, подстилающих терригенный верхоянский комплекс. В них в теньевых структурах под микроскопом иногда устанавливается микрофаунистический детрит, предположительно конодонт, с размером частиц от 0.1 до 1 мм.

Вмещающие шток терригенные породы ранней перми на контакте с карбонатным штоком превраще-

ны в мелкозернистые альбит-кварцевые метасоматиты (фениты) с мелкозернисто-роговиковой структурой и пятнисто-сетчатой текстурой. Они отличаются повышенными против регионального кларка содержаниями La и Ce. Это связано с тем, что песчаные прослои ранней перми содержат переотложенный материал эродированных карбонатитов. В отдельных разрезах P<sub>1</sub> содержание La и Ce достигает 3—3.5 кларков. Сочетание субкларковых содержаний La и Ce во внутренней части карбонатного штока с некоторым обогащением этими элементами фронтальной его части можно объяснить процессами обмена веществом между штоком и осадочными породами. Содержание золота во вмещающих осадочных породах составляет 8—25 мг/т, что превышает региональный кларк в 1.5—3.2 раза, а кларк



земной коры более чем в 2–5 раз. В перекристаллизованных марказите и пирите осадочных пород содержание золота варьируется от 12 до 206 г/т. Во внутренней части карбонатного штока содержание золота, в отличие от вмещающих пород, находится на субкларковом уровне в 4–6 мг/т, повышаясь до 0.2–1.8 г/т в приконтактовых с ним метасоматически преобразованных алевролитах бонсолчанской свиты ранней перми.

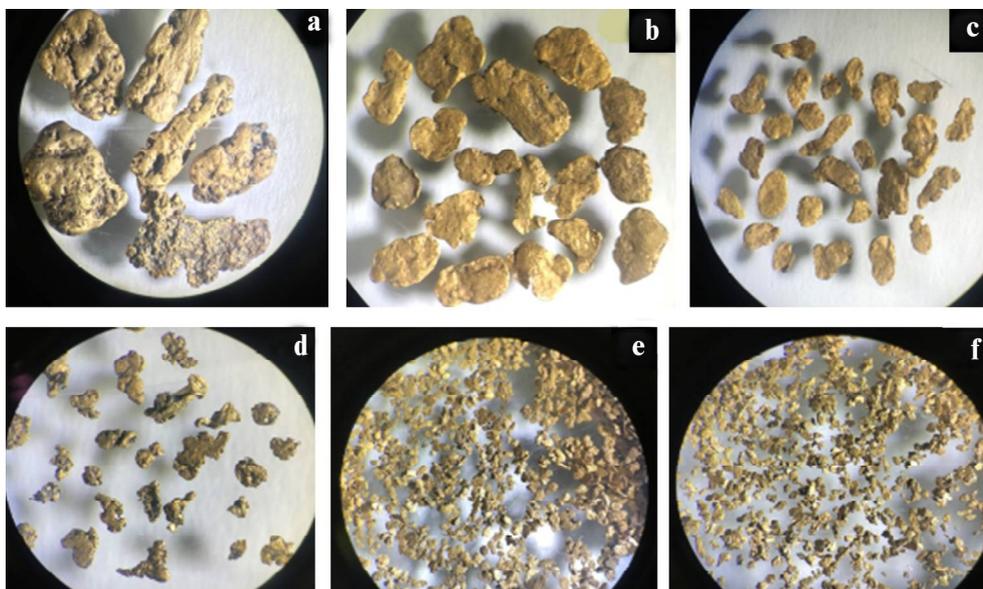
Из представленных данных следует, что образование коренного золотого оруденения и золотой россыпи в рассматриваемом объекте, скорее всего, обусловлено перегруппировкой надкларковых концентраций золота во вмещающих раннепермских осадочных породах (халыинская и бонсолчанская свиты) и содержащихся в них сульфидах по фронту внедрения карбонатного диапира. Основная золотоносность, пространственно тяготеющая к Амурскому карбонатному штоку (диапиру), обусловлена вовсе не самим штоком. Во-первых, она обязана своим появлением вмещающим штоку раннепермским осадочным породам и аномально обогащенным в них золотом сульфидам, а во-вторых, мелкозернистым альбит-кварцевым метасоматитам, образовавшимся по осадочным породам на фронте внедрения штока (диапира). Содержание золота в составе монофракций пирита из осадочных пород (пирит-1) варьируется в пределах от 4 до 35 г/т при среднем значении 29 г/т. Во фракциях пирита-2 из метасоматитов установлены более высокие содержания золота, достигающие, по данным М. К. Силичева (1995 г.), 201 г/т при среднем значении 42 г/т.

Данные по профилю, пересекающему шток и вмещающие породы, отражают следующую последовательность обогащения золотом в пространстве: вмещающие неизменённые породы с содержанием Au до 0.2 и Ag до 6.2 г/т → приконтактовые слабоокремненные породы с сетчатым кварцево-карбонатным ожилкованием и с содержанием Au до 0.6, Ag до 7.6 г/т → метасоматиты с равномерной тонкой вкрапленностью пирита (1–5 %) и с содержанием Au до 0.9, Ag до 10.7 г/т → интенсивно пиритизированные (до 50 %) метасоматиты с содержанием Au до 1 г/т, Ag до 14 г/т. Основная масса золота в ходе перегруппировок сосредотачива-

лась вдоль фронта продвижения карбонатного штока, концентрируясь в штокверке золотокварцевых мало-сульфидных прожилков. Высвобождение золота из сульфидов с его последующим переотложением в кварц поздней стадии минерализации сопровождалось укрупнением его частиц до образования уже в аллювии самородков весом до 16 г (по данным геолога М. С. Щербакова, 1974). Позже этот штокверк был эродирован с образованием аллювиальной россыпи, которая в настоящее время отрабатывается старателями. Как показано на рис. 3, золотины в этой россыпи колеблются по размеру и степени окатанности. При этом чем меньше размер частиц, тем они хуже окатаны. Мелкие золотины поступали большей частью из метасоматитов с обогащенным золотом пирита-2, источником более крупных золотинов в россыпи послужили упомянутые выше кварцевые прожилки и жилы штокверка.

Таким образом, рассмотренный выше пример пространственной связи карбонатного штока с золоторудной минерализацией даёт основание утверждать, что обогащение золотом по фронту тепловых потоков не зависит от состава эндогенных источников, но сильно зависит от золотоносности вмещающих осадочных пород. Критерием перераспределения золота в них под влиянием таких эндогенных факторов является наличие градиентов концентраций золота, установленных с помощью геохимических исследований всего разреза осадочных пород, магматитов с последующим расчётом региональных кларков. Наличие надкларковых валовых содержаний золота в осадочных породах и их обогащение золотоконцентрирующими минералами даёт основание не только выйти на конкретный золоторудный объект, но и разобраться с историей перегруппировок золота под влиянием различных геологических факторов и процессов.

Второй пример представляет собой **Верхне-Индигорский** золоторудно-россыпной район, располагающийся на Эльгинском складчато-глыбовом поднятии. Здесь пространственная связь с магматизмом чаще всего тоже отсутствует [6]. Рудные тела в виде субсогласных, пологосекущих и секущих осадочные породы маломощных кварцевых жил приурочены к мине-



**Рис. 3.** Гранулометрия и морфология аллювиальных золотинов. Их размеры в гранулометрических разрядах (мм): а – 8–4; б – 4–2; в – 2–1; д – 1–0.5; е – 0.5–0.25; ф – менее 0.25

**Fig. 3.** Granulometry and morphology of alluvial gold particles. Sizes of gold grains in granulometric grades (mm): а – 8–4; б – 4–2; в – 2–1; д – 1–0.5; е – 0.5–0.25; ф – less than 0.25

рализованном зонам дробления либо к флексурам, локализуясь в надвигах (золоторудное месторождение Бадран), взбросах или их кулисах северо-западного простирания (рудопроявления Надеждинское, Танинское и др.), осложняющих крылья мелкой складчатости.

Рудовмещающие породы позднего триаса, представленные переслаивающимися алевролитами и полевошпат-кварцевыми песчаниками, являются типичными турбидитами дельтовых фаций подводного склона и/или его подножия [19, 21]. На степень минерализации секущих зон дробления с маломощными кварцевыми жилами огромное влияние оказывает литологический состав вмещающих пород. При пересечении пластов песчаников золотое оруденение распространяется на всю мощность рудовмещающей пачки (Танинское рудопроявление), но буквально «вязнет» в алевролитах, разбиваясь в них на маломощные золотосодержащие струи. Подобная ситуация наблюдается и в Аллах-Юньской зоне развития стратифицированной золоторудной минерализации [7, 9].

Возраст оруденения, по геологическим данным, растянут в диапазоне  $J_3-K_2$ . При этом ранний этап минерализации выражен рассеянной золото-марказит-пиритовой и/или золотоарсенопиритовой (установленной на низких горизонтах месторождения Бадран в надвиговой зоне) минерализацией, образовавшейся по завершению складчатости. В пределах золоторудного месторождения Бадран основное промышленное оруденение находится в зоне Бадран-Эгеляхского взбросонадвиг. Здесь развивается кварц-малосульфидная минерализация с пиритом, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами, антимонитом. Она залегает согласно с вмещающими породами с падением на северо-запад под углом  $27-35^\circ$ . На участках более крутых залеганий вмещающих пород надвиговая зона тоже приобретает более крутое падение, контролируя преимущественно вкрапленную золото-пирит-арсенопиритовую минерализацию с прожилково-тонкосетчатым окварцеванием. Сама надвиговая зона располагается непосредственно под флексурой пласта песчаников верхнебайтахской подсвиты позднего триаса. Вмещающие турбидиты с прослоями песчаников кварц-полевошпатового и полимиктового состава  $T_3$  за пределами рудного поля отличаются повышенными содержаниями (в кларках земной коры) Au (1.5–2), Sb (2.5), Pb (2), As (4.5).

На примере месторождения Бадран можно увидеть, что золотое оруденение сформировалось в несколько этапов перегруппировки элементов-примесей, находящихся в пирите разных стадий минерализации (табл. 3, 4). Максимальные концентрации Au и Ag устанавливаются в пиритах и арсенопиритах зоны рассеянной минерализации. В процессе переотложения сульфидов в жильные образования золото из них высвобождается, укрупняется, а концентрации его в переотложенных сульфидов сокращаются почти на порядок. Новообразованные золотины укрупняются, локализуясь в жильном кварце с образованием золото-малосульфидно-кварцевых минерализаций и оруденений. Основными примесями в составе последних выступают те же микроэлементы, что присутствуют в терригенных породах, – Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Pb, Sb, Au, Mn. Пирит участвует в процессе перегруппировки этих элементов разнонаправленно – сначала на

метасоматической стадии накапливает, а затем при собственном переотложении в гидротермальные жилы высвобождает золото и элементы-спутники в виде самостоятельных минералов (фазовая гетерогенизация). Вследствие сложения именно таких разнонаправленных процессов и образуются продуктивные на самородное золото минерализации.

В заключение проиллюстрируем гипотетический механизм эволюции источников золота при формировании золоторудных месторождений в Восточной Якутии (рис. 4).

Согласно предлагаемой гипотезе, реализуются четыре основных этапа формирования таких месторождений в ходе многократной перегруппировки первоначально рассеянного золота в осадочных породах в условиях регионального метаморфизма, метасоматизма и гидротермальных преобразований. Причиной таких перегруппировок на разных стадиях формирования золоторудных месторождений может выступить эндогенный тепломассоперенос, имеющий как глубинное происхождение, так и воздействие со стороны вблизи локализованных магматитов любого состава.

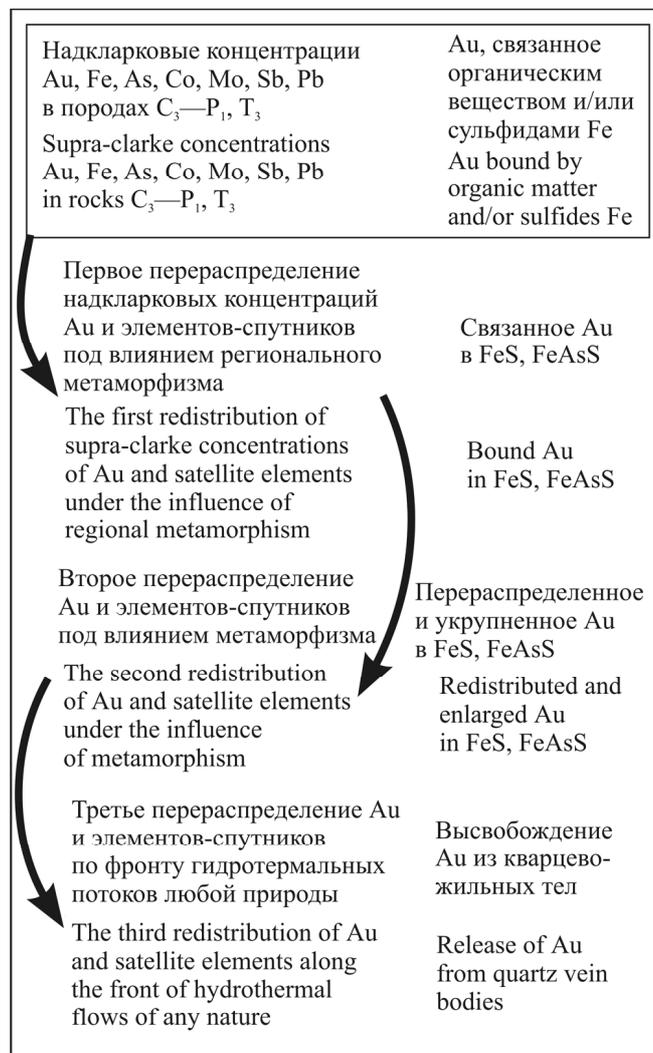


Рис. 4. Обобщённая схема эволюции источников золота в геологических структурах Восточной Якутии

Fig. 4. Generalized scheme of the evolution of gold sources in the geological structures of Eastern Yakutia

**Таблица 3.** Структурно-минералогические и геохимические особенности формирования золоторудной минерализации в Верхне-Индигирском районе (на примере месторождения Бадран и рудопроявления Танинское)

**Table 3.** Structural, mineralogical and geochemical features of the formation of gold mineralization in the Verkhne-Indigirsky region (on the example of the Badran deposit and the Taninskoye ore occurrence)

Этапы развития структуры Stages of structure development	Золоторудная формация Gold ore formation	Минеральный тип Mineral type	Минеральная ассоциация, стадия, температура среды в °С (вакуумная декрептация) Mineral association, stage, ambient temperature in °C (vacuum decrepation)	Геохимический тип Geochemical type	Геохимическая ассоциация Geochemical association
1	2	3	4	5	6
Дорудный, доскладчатый Pre-ore, pre-folded	не опр. n/d	не опр. n/d	золото (1) + марказит-пирит (1). Содержание золота в марказите-пирите — 6–14 г/т. Температура образования — 112–340 °С (турбидиты T <sub>3</sub> за пределами рудного поля) gold (1) + marcasite-pyrite (1). The gold content in marcasite-pyrite — 6–14 g/t. The formation temperature — 112–340 °C (T <sub>3</sub> turbidites outside the ore field)	золото в надкларковых содержаниях (6–8 мг/т) и элементы-спутники — Fe, As, Co, Mo, Sb, Pb — во вмещающих турбидитах supracarke gold (6–8 mg/t) and satellite elements Fe, As, Co, Mo, Sb, Pb in host turbidites	
Ранний синскладчатый. Формирование флексуры Бадрана с межслоевыми трещинами. Заложение надвиговой зоны Early synfold. Formation of the Badran flexure with interlayer cracks. Occurrence of the overthrust zone	золото-сульфидная gold-sulfide	золото-пиритовый gold-pyrite	золото (2) + пирит (2), первая рудная стадия. Содержание золота в пирите — 12–34 г/т. Температура образования — 112–225 °С gold (2) + pyrite (2), the first ore stage. The gold content in pyrite — 12–34 g/t. Temperature of formation — 112–225 °C	золото-мышьяковый gold-arsenic	Au, Fe, As, Co, Ag
Поздний постскладчатый. Брекции в надвиговой зоне. Формирование зоны рассеянной пирит-арсенопиритовой минерализации Late postfold. Breccias in the overthrust zone. Formation of a zone of dispersed pyrite-arsenopyrite mineralization	золото-сульфидная gold-sulfide	золото-пирит-арсенопиритовый gold-pyrite-arsenopyrite	золото (3) + кварц (1) + пирит (3) + арсенопирит (1), вторая рудная стадия. Содержание золота в пирите 20–240 г/т, в арсенопирите (1) — 12–180 г/т. Температура образования — 165–225 °С gold (3) + quartz (1) + pyrite (3) + arsenopyrite (1), the second ore gradedia. The gold content in pyrite is 20–240 g/t, in arsenopyrite (1) — 12–180 g/t. Formation temperature — 165–225 °C	золото-мышьяковый gold-arsenic	Au, Fe, As, Ag, Co, Ni

Таблица 3. Окончание  
Table 3. End

1	2	3	4	5	6
Ранний, связанный с образованием секущих жил в межслоевых трещинах в терригенной толще Early, associated with formation of secant veins in interlayer cracks in terrigenous sequence	золото-кварцевая мало-сульфидная gold-quartz low-sulfide	золотополи-сульфидный gold-polysulfide	золото (4) + кварц (2) + доломит + пирит (4) + арсенопирит (2) + сфалерит + галенит + блеклые руды. Температура образования — 165—270 °С gold (4) + quartz (2) + dolomite + pyrite (4) + arsenopyrite (2) + rite + galena + faded ores. Formation temperature — 165—270 °С.	золото-серебро-мышьяк-цинк-свинец-медный gold-silver-arsenic-zinc-lead-copper	Au, As, Ag, Pb, Cu
Поздний, связанный с образованием секущих жил Late, associated with the formation of secant veins	сульфидная Sulfide	сульфоантимонитовый sulfoantimonite	кварц (3) + карбонат (2) + сульфоантимониты + антимонит. Температура образования — 165—270 °С quartz (3) + carbonate (2) + sulfoantimonite + antimonite. Formation temperature — 165—270 °С	сурьмяный Antimony	Au, As, Ag, Pb, Cu, Sb
Гипотетический связанный с кислым магматизмом и глубинными флюидами Hypothetical associated with acid magmatism and deep fluids	золото (?) - сульфотеллуридная gold (?) - sulfotelluride	золото (?) - сульфотеллуридный gold (?) - sulfotelluride	не опр. n/d	висмут-теллуридовый (?) bismuth-tellurium (?)	Au (?), As, Co, Bi, Te, Sb
Пострудный Post-ore	не опр. n/d	кварц-карбонатный quartz-carbonate	кварц (4) + карбонаты quartz (4) + carbonates	карбонатный carbonate	геохимическая ассоциация зоны окисления: Au, Fe, As, Pb, Zn, Ag, Sb, Cu, Co, Bi geochemical association of the oxidation zone: Au, Fe, As, Pb, Zn, Ag, Sb, Cu, Co, Bi



**Таблица 4.** Изменение средних содержаний золота и элементов-примесей в составе пирита и марказита в золоторудном месторождении Бадран (г/т)

**Table 4.** Change in the average content of gold and trace elements in the composition of pyrite and marcasite of the Badran gold deposit (ppm)

Ti	V	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Pb	Sb	Au	Mn	Сумма примесей Admixture sum
Элементы-примеси в марказитах рудоносных толщ (n = 5). Золотопиритовая стадия Elements-impurities in the marcasite of the ore-bearing strata (n = 5). Gold-pyrite stage													
4500	9	102	32	72	24	250	70	75	458	1389	14	150	7045
Элементы-примеси в неперекристаллизованном пирите зоны рассеянной минерализации (n = 3). Золото-пирит-арсенопиритовая стадия Elements-impurities in non-recrystallized pyrite of the scattered mineralization zone (n = 3). Gold-pyrite-arsenopyrite stage													
5000	1	5	10	70	50	3000	5	1126	15	50	1491	200	11023
Элементы-примеси в перекристаллизованном пирите зоны диффузной минерализации (n = 5) Elements-impurities in recrystallized pyrite of the zone of diffuse mineralization (n = 5)													
4300	1.3	6.7	11	30	21.7	2860	5.3	970	35	139	50	330	8759
Примеси в массивном пирите без разделения на основе перекристаллизации (n = 13) Impurities in bulk pyrite without separation on the basis of recrystallization (n = 13)													
4600	2	20	16	33	23	2840	5	175.7	34	141	162.2	370	8421.9

Наличие повышенных содержаний золота в магматических породах в пределах рудных полей ещё не означает, что золото генетически связано именно с ними. Для доказательства подобной связи потребуются исключить возможное наличие источника золота во вмещающих магматизм породах.

### Заключение

На примере изучения крупных золотоносных районов складчатых структур Восточной Якутии показано, что формирование золоторудных месторождений представляет собой длительный полиэтапный и полистадийный процесс. Господствующие воззрения, в основном о парагенетической или генетической связи образования золотых оруденений с гранитоидами, имеющими мифическую «золотую специализацию», долгое время не давали в упомянутом регионе значимых результатов поисков. Это происходило до той поры, пока геологи в ходе геологических съемок и поисков масштаба 1 : 200 000—1 : 50 000 не стали комплексно исследовать геохимические особенности как магматических, так и осадочных пород. Только рассчитанные в результате таких работ региональные кларки позволили получить реальную картину распределения относительных содержаний рудообразующих химических элементов, включая золото, в геологическом пространстве с выделением групп дефицитных (докларковых), равновесных (субкларковых) и избыточных (надкларковых) элементов как основы для прогнозирования.

Исследование изменений концентраций золота и его элементов-спутников под воздействием факторов магматизма, метаморфизма, метасоматизма и гидротермальной деятельности дали возможность выявить важнейшую роль для рудообразования надкларковых концентраций золота в терригенных породах R<sub>3</sub>-возраста на территории Кыллахского поднятия,

C<sub>3</sub>—P<sub>1</sub>- и T<sub>3</sub>-возраста на территории Южно-Верхоянского и Сартановского синклинориев. Золоторудные месторождения здесь, как правило, ассоциируются пространственно с магматитами, но локализуются только в осадочных толщах с надкларковыми содержаниями золота. Вне таких толщ, даже в пространственной связи с гранитоидами, ни одного золоторудного объекта не выявлено. Показательно также, что единственная золотоносная речная россыпь, выявленная здесь в пространственной связи с карбонатным штоком эндогенного происхождения, тоже привязана к осадочным породам P<sub>1</sub> с надкларковыми валовыми содержаниями золота. В других геологических ситуациях – на Кыллахском поднятии и в Сетте-Дабанском антиклинории с докларковыми содержаниями золота в осадочных породах – аналогичных россыпей в ассоциации с такого рода карбонатами не выявлено.

Проведенные исследования привели к выводу о первостепенной роли в образовании золоторудных месторождений не столько собственно магматизма, сколько перегруппировок первоначальных содержаний золота во вмещающих магматиты осадочных породах под воздействием различных, в том числе и эндогенных, агентов теплопереноса. Таким образом, важнейшим критерием наличия золоторудной минерализации в регионе является существование в нем осадочных толщ с надкларковыми концентрациями золота.

Полученные данные дают основание к пересмотру перспективности площадей на рудное золото, особенно в известных золоторудных районах, на основе апробированной в Восточной Якутии методики выделения уровней первичного накопления золота и его спутников с помощью расчётов региональных кларков осадочных и магматических пород, а также кларков для сквозных минералов, участвующих в образовании золотых оруденений.



## Литература

1. Андриянов Н. Г. О взаимоотношении процессов метаморфизма и золотой минерализации в Южно-Верхоянском синклинии // ДАН СССР. 1973. Т. 211. № 2. С. 434–436.
2. Вернадский В. И. История минералов земной коры // Избр. соч. Т. 4. Кн. 1. М.: Наука, 1959.
3. Зверев К. В., Казаненков В. А. Седиментогенез отложений ачимовской толщи Северного Приобья // Геология и геофизика. 2001. Т. 32. № 4. С. 617–630.
4. Кокин А. В. Новые данные по золотоносности осадочных пород Юго-Восточного обрамления Сибирской платформы // ДАН СССР. 1990. Т. 13. № 3. С. 697–699.
5. Кокин А. В. Карбонатный диапир в терригенном верхоянском комплексе Юго-Восточной Якутии // ДАН. 1994. Т. 337. № 4. С. 486–489.
6. Кокин А. В. Структурно-морфологические, минералогическо-геохимические и литолого-фациальные особенности локализации золотого оруденения в Верхне-Индигирском золотоносном районе // Вестник Госкомгеологии РС(Я). 2001. № 1. С. 54–66.
7. Кокин А. В., Силичев М. К. Литолого-петрохимические и геохимические особенности отложений вмещающих стратиформное золотое оруденение в Юго-Восточной Якутии // Литология и полезные ископаемые. 1987. № 3. С. 119–128.
8. Конкин В. Д., Донец А. И., Ручкин Г. В. Минералогическо-геохимические типы и региональные геологические особенности стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах // Отечественная геология. 2018. № 4. С. 52–62. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10005
9. Константинов М. М., Косовец Т. Н., Орлова Г. Ю., Щитова В. И., Жидков С. Н., Слезко В. А. Факторы локализации стратиформного золотокварцевого оруденения // Геология рудных месторождений. 1988. № 5. С. 59–69.
10. Мехоношин В. Ф., Поркунова А. Л. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Юдомская. Лист Р-54-ХIII (устье р. Дыбы). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2016. 77 с.
11. Парада С. Г. Генетические модели предрудных золотоносных минерализаций в черносланцевых комплексах Северного Кавказа // Вестник Южного научного центра. 2015. Т. 11. № 2. С. 53–62.
12. Развозжаева Э. А., Спиридонов А. М., Цыханский В. Д. Платина в углеродистом веществе рудного месторождения Сухой лог (Восточная Сибирь) // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 3. С. 286–296.
13. Севергин В. М. Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. СПб., 1798. Кн. 1–2.
14. Стружков С. Ф., Наталенко М. В., Цымбалюк Н. В. Уникальные золоторудные регионы Витватерсранд (ЮАР) и Центрально-Колымский (Россия) – сопоставительный анализ // Минеральные ресурсы России, экономика и управление. 2009. № 4. С. 72–81.
15. Чащин В. В., Петров С. В., Киселева Д. В., Савченко Е. Э. Платиносность и условия образования сульфидного ЭПГ-Cu-Ni-месторождения НЮД-II Мончегорского плутона // Геология рудных месторождений. 2021. Т. 63. № 2. С. 99–131. DOI: 10.31857/S0016777021020027
16. Чернышев И. В., Бортников Н. С., Чугаев А. В., Гамянин Г. Н., Бахарев А. Г. Источники металлов крупного орогенного золоторудного Нежданинского месторождения (Якутия, Россия). Результаты высокоточного изучения изо-

топного свинца (МС-ICP-МС) и стронция // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. № 5. С. 395–418.

17. Шило Н. А. Витватерсранд и проблема его образования // Смирновский сборник № 7. М., 2007. С. 51–64.

18. Щербаков Ю. Г. Распределения и условия концентрации золота в рудных провинциях. М.: Наука, 1967. 269 с.

19. Baume A. H. Sedimentology of some flysch deposits: a graphic approach to facies interpretation. Amsterdam: Elsevier Pub. Co. 1962. 162 p.

20. Breithaupt A. Die Paragenesis der Mineralien: mineralogisch, geognostisch und chemisch beleuchtet, mit besonderer Rücksicht auf Bergbau. Freiberg: J. G. Engelhardt, 1849. 276 p.

21. Stow D. A. V., Shanmugam G. Sequence of structures in fine-grained turbidites: comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments // Sedim. Geol. 1980. V. 25. No. 1. 23–42 pp.

## References

1. Andrianov N. G. *O vzaimootnoshenii protsessov metamorfizma i zolotoy mineralizatsii v Yuzhno-Verkhoyanskom sinklinorii* (On the relationship between the processes of metamorphism and gold mineralization in the South Verkhoyansk synclinorium). Doklady Earth Sciences, 1973, 211, No. 2, pp. 434–436.
2. Vernadskiy V. I. *Istoriya mineralov zemnoy kory* (History of the minerals of the earth's crust). Selected Works, V. 4, Book 1, Moscow, 1959.
3. Zverev K. V., Kazanenkov V. A. *Sedimentogenez otlozheniy achimovskoy tolshchiny Severnogo Priob'ya* (Sedimentogenesis of the Achimov strata of the Northern Ob region). Geologiya i geofizika, 2001, V. 32, No. 4, pp. 617–630.
4. Kokin A. V. *Novyye dannyye po zolotonosnosti osadochnykh porod Yugo-Vostochnogo obramleniya Sibirskoy platformy* (New data on the gold content of sedimentary rocks of the Southeastern framing of the Siberian Platform). Doklady Earth Sciences, 1990, V. 13, No. 3, pp. 697–699.
5. Kokin A. V. *Karbonatnyy diapir v terrigenom vekhoyanskom komplekse Yugo-Vostochnoy Yakutii* (Carbonate diapirs in the Vekhoyansk terrigenous complex of southeastern Yakutia). Doklady Earth Sciences, 1994, V. 337, No. 4, pp. 486–489.
6. Kokin A. V. *Strukturno-morfologicheskiye, mineralogo-geokhimicheskiye i litologo-fatsial'nyye osobennosti lokalizatsii zolotogo orudneniya v Verkhne-Indigirskom zolotonosnom rayone* (Structural-morphological, mineralogical-geochemical and lithological-facies features of the localization of gold mineralization in the Verkhne-Indigirsky gold-bearing region). Vestnik Goskomgeologii RS(Ya), 2001, No. 1, pp. 54–66.
7. Kokin A. V., Silichev M. K. *Litologo-neftekhimicheskiye i geokhimicheskiye osobennosti otlozheniy vmeshchayushchikh stratiformnoye zolotoye orudneniye v Yugo-Vostochnoy Yakutii* (Lithological, petrochemical and geochemical features of deposits hosting stratiform gold mineralization in South-Eastern Yakutia). Litologiya i poleznyye iskopayemye, 1987, No. 3, pp. 119–128.
8. Konkin V. D., Donets A. I., Ruchkin G. V. *Mineralogo-geokhimicheskiye tipy i iz'yazvleniya pecheni osobennosti stratiformnykh svintsovo-tsinkovykh obrazovaniy v karbonatnykh tolshchakh* (Mineralogical and geochemical types and regional geological features of stratiform lead-zinc deposits in carbonate strata). Domestic geology, 2010, No. 4, pp. 52–62. DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10005



9. Konstantinov M. M., Kosovets T. N., Orlova G. Yu., Shchitova V. I., Zhidkov S. N., Slezko V. A. *Faktery vozdeystviya stratiformnogo zolotokvartseвого orudneniya* (Localization factors of stratiform gold-quartz mineralization). *Geology of ore deposits*, 1988, No. 5, pp. 59–69.
10. Mekhonoshin V. F., Porkunova A. L. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:200000. Seriya Yudomskaya. List P-54-XIII (ust'ye r. Dyby). Ob'yasnitel'naya zapiska*. (State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000. Yudomskaya series. Sheet P-54-XIII (mouth of the Dyba River). Explanatory note). Moscow branch of FSBI "VSEGEI", 2016, 77 p.
11. Parada S. G. *Geneticheskiye modeli predrudnykh zolotonosnykh mineralizatsiy v chernoslantsevyykh kompleksakh Severnogo Kavkaza* (Genetic models of pre-ore gold-bearing mineralizations in black shale complexes of the North Caucasus). *Bulletin of the Southern Scientific Center*, V. 11, No. 2, 2015, pp. 53–62.
12. Razvozhayeva E. A., Spiridonov A. M., Tsykhanskiy V. D. *Platina v uglerodistom uglerode rudnogo mestorozhdeniya Sukhoy log (Vostochnaya Sibir')* (Platinum in the carbonaceous matter of the Sukhoy log ore deposit (Eastern Siberia)). *Geology and geophysics*, 43, No. 3, 2002, pp. 286–296.
13. Severgin V. M. *Pervyye osnovaniya mineralogii ili yestestvennoy istorii iskopyemykh tel* (The first foundations of mineralogy or the natural history of fossil bodies). Book 1–2, St. Petersburg, 1798.
14. Struzhkov S. F., Natalenko M. V., Tsybalyuk N. V. *Unikal'nyye zolotorudnyye regiony Vitvatersrand (YUAR) i Tsentral'no-Kolymskiy (Rossiya) — sopostavitel'nyy analiz* (Unique gold ore regions of the Witwatersrand (South Africa) and Central Kolyma (Russia) — comparative analysis). *Mineral resources of Russia, economics and management*, 2009, No. 4, pp. 72–81.
15. Chashchin V. V., Petrov S. V., Kiseleva D. V., Savchenko Ye. E. *Platinosnost' i usloviya obrazovaniya sul'fidnogo EPG-Cu-Ni mestorozhdeniya NYUD-II Monchegorskogo plutona* (Platinum content and formation conditions of sulfide PGE-Cu-Ni deposit NYUD-II of the Monchegorsk pluton). *Geology of ore deposits*, V. 63, No. 2, 2021, pp. 99–131. DOI: 10.31857/S0016777021020027
16. Chernyshov I. V., Bortnikov N. S., Chugaev A. V., Gamyarin G. N., Bakharev A. G. *Istochniki metallov krupnogo orogenno zolotorudnogo Nezhdaninskogo mestorozhdeniya (Yakutiya, Rossiya). Rezul'taty vysokotochnogo izucheniya izotopnogo svintsa (MS-ISP-MS) i strontsiya* (Sources of metals of the large orogenic gold ore Nezhdaninskoe deposit (Yakutia, Russia). Results of a high-precision study of isotopic lead (MS-ICP-MC) and strontium). *Geology of ore deposits*, V. 53, No. 5, 2011, pp. 395–418.
17. Shilo N. A. *Vitvatersrand i problema yego obrazovaniya* (Witwatersrand and the problem of its formation). Smirnovsky collection, 2007, pp. 51–64.
18. Shcherbakov Yu. G. *Raspredeleniya i usloviya sodержaniya zolota v vrudnykh provintsiyakh* (Distributions and conditions of gold concentration in ore provinces). Moscow: Nauka, 1967, 269 p.
19. Bouma A. H. *Sedimentology of some flysch deposits: a graphic approach to facies interpretations*. Amsterdam: Elsevier Pub. Co., 1962, 162 p.
20. Breithaupt A. *Die Paragenesis der Mineralien: mineralogisch, geognostisch und chemisch beleuchtet, mit besonderer Rücksicht auf Bergbau*. Freiberg: J.G. Engelhardt, 1849, 276 p.
21. Stow D. A. V., Shanmugam G. *Sequence of structures in fine-grained turbidites: comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments*. *Sedim. Geol.*, 1980, V. 25, No. 1. pp. 23–42.

Поступила в редакцию / Received 26.09.2022