

УДК 553.411:553.21/24

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-1-101-117

## Структурно-вещественная модель размещения золоторудных месторождений Центрально-Колымского региона

**Ю. С. Савчук, А. В. Волков**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, 119017, Москва, Ж-17, Старомонетный пер., 35, e-mails: yurasavchuk@yandex.ru, tma2105@mail.ru

Поступила в редакцию 23.09.2021 г., принята к печати 11.11.2021 г.

**Объект исследования.** В Центрально-Колымском рудном районе, вблизи Тенькинского глубинного разлома, располагается несколько месторождений золота, в том числе суперкрупное Наталка, крупные – Павлик, Дегдекан и целый ряд более мелких. Характерна однотипная позиция этих объектов в лежачем боку разлома и приуроченность к взбросо-надвиговым оперяющим нарушениям. Отличиями являются позиция на разных уровнях пермского разреза, масштабы оруденения, некоторые характеристики вещественного состава. **Материалы и методы.** Проведен анализ пространственных характеристик рудовмещающих нарушений с учетом смены углов их падения по разрезу вмещающей толщи, состав руд, параметры флюидов и закономерные изменения их термодинамических характеристик. **Результаты.** Реставрирована гидротермальная колонна, в нижней части которой располагается месторождение Родионовское, затем Дегдекан, Наталка и в верхней части – Павлик. Общий вертикальный размах такой колонны более 5 км. Эта структурная модель объясняет тенденции смены вещественных характеристик рудообразующих флюидов, отражающие изменчивость *P-T* характеристик снизу вверх в гидротермальной колонне. **Выводы.** Проявления, располагающиеся непосредственно в зоне и вблизи рудоподводящего Тенькинского разлома, имеют сравнительно небольшие масштабы, более благоприятны оперяющие рудовмещающие взбросо-надвиговые структуры на удалении 2–5 км от него. На основе этой модели сделан важный вывод, что ниже по уровню месторождения Павлик, являющегося верхней частью колонны, может располагаться крупнообъемное месторождение, подобное Наталке.

**Ключевые слова:** Центрально-Колымский район, золото, месторождение, Наталка, Павлик, Дегдекан, взброс, надвиг, сдвиг

### Источник финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджетной темы ИГЕМ РАН

## Structural-material model of gold deposit location in the Central Kolyma region

**Yurii S. Savchuk, Aleksandr V. Volkov**

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, 35 Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russia, e-mail: yurasavchuk@yandex.ru

Received 23.09.2021, accepted 11.11.2021

**Research subject.** Several gold deposits, including superlarge (Natalka), large (Pavlik and Degdekan) and a number of smaller ones are located in the Central Kolyma ore region, near the Ten'kinsky deep fault. The similar position in the recumbent fault flank and confinement to upthrust-thrust plumage faults are characteristic of these objects. The differences are in the position at the different levels of the Permian section, the scale of mineralisation, and some characteristics of the material composition. **Materials and methods.** An analysis of the spatial characteristics of ore-bearing disturbances was carried out taking into account the change in the angles of their incidence along the section of the enclosing strata. In addition, the composition of the ores, the parameters of fluids and the regular changes in their thermodynamic characteristics were studied. **Results.** The additive hydrothermal column is restored, in the lower part of which the Rodionovskoye deposit is located, followed by the Degdekan and Natalka deposits, and ending in the upper part by the Pavlik deposit. The total vertical span of such a column is more than 5 km. This structural model explains the trends in the material characteristics of ore-forming fluids, reflecting the variability of the *P-T* characteristics from bottom to top in the hydrothermal column. **Conclusions.** The occurrences located directly in the zone and near the ore-supplying Ten'kinsky fault

**Для цитирования:** Савчук Ю.С., Волков А.В. (2022) Структурно-вещественная модель размещения золоторудных месторождений Центрально-Колымского региона. *Литосфера*, 22(1), 101–117. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-1-101-117>

**For citation:** Savchuk Yu.S., Volkov A.V. (2022) Structural-material model of gold deposit location in the Central Kolyma region. *Lithosphere (Russia)*, 22(1), 101–117. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-1-101-117>

© Ю.С. Савчук, А.В. Волков, 2022

are relatively small in scale; the feathering ore-bearing reverse-thrust structures at a distance of 2–5 km from it are more favourable. Based on this model, a large-volume deposit similar to the Natalka might be located below the Pavlik deposit, which is the upper part of the column.

**Keywords:** *Central Kolyma district, gold, deposit, Natalka, Pavlik, Degdekan, upthrust, thrust, strike-slip*

#### Funding information

*The work was financially supported by the State Project of IGEM RAS*

## ВВЕДЕНИЕ

Орогенные золотые месторождения широко распространены в складчатых областях, и среди них много крупных и суперкрупных объектов с запасами и ресурсами более 500 т золота (Bierlein et al., 2006). Они значительно варьируют по составу рудной минерализации – от золото-кварцевых до золото-сульфидных, и имеют широкий спектр морфологических проявлений – от жильных до крупнообъемных прожилково-вкрапленных. Предложен (Groves et al., 2016) генетический механизм образования этих месторождений, в котором эти вариации определяются *P-T* условиями среды и обусловлены изменениями тектонофизической обстановки зоны рудоотложения. Обычно при изучении рудных объектов основное внимание уделяется смене этих параметров в объеме (по вертикали и по горизонтали) единичного проявления, а так называемые латеральные ряды формаций находят применение только в мелкомасштабных металлогенических построениях. Однако установление “среднемасштабной” структурно-вещественной зональности по ряду родственных месторождений позволяет выявить их возможные потенциальные характеристики и получить объяснения широкого спектра наблюдаемых свойств.

Эти построения удобно проводить в таком сравнительно хорошо изученном регионе, как Центральнo-Колымский (Михайлов и др., 2007), где выявлена серия золоторудных объектов и располагается суперкрупное месторождение Наталка. Здесь выделяется Тенькинский глубинный разлом (рис. 1), который представляет собой зону северо-западного простираия и, по В.Г. Шахтырову (1997), проявляется на поверхности: сериями близмеридиональных разломов, соответствующих синтетическим<sup>1</sup> сдвигам  $R_1$ ; осями складок запад-северо-западного направления; однообразной ориентировкой длинных осей гранитоидных массивов в близмеридиональном направлении, со-

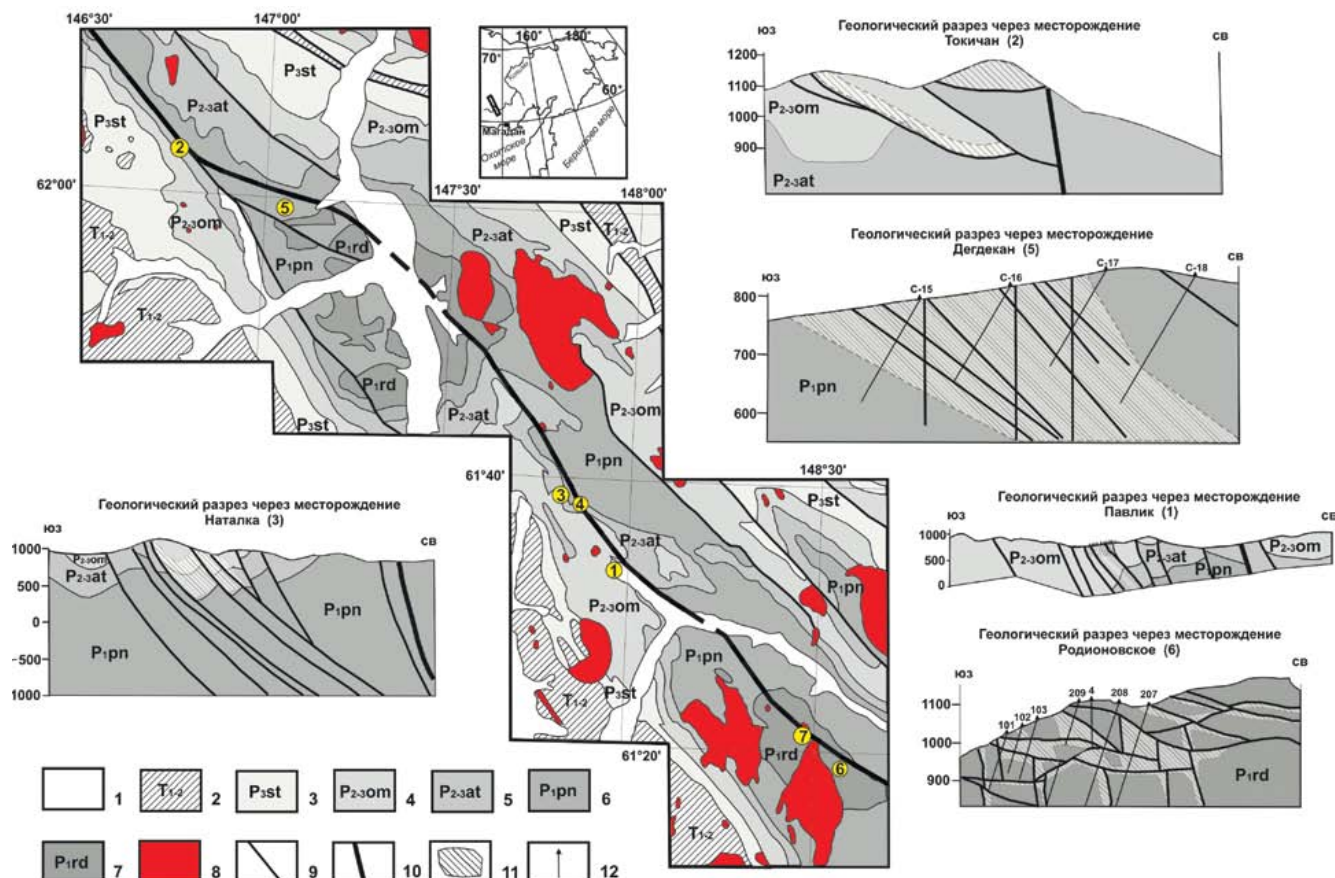
ответствующих положению трещин отрыва; свитами даек и разломов, вмещающих золото-кварцевое оруденение.

Возраст золотого оруденения в регионе, по данным  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования, оценивается как начало раннего мела (125–139 млн лет) (Ворошин, 2005; Ворошин, Ньюберри, 2001; Voroshin et al., 2004; Goldfarb et al. 2014); на Дегдеканском рудном поле, по данным U-Pb-SHRIMP метода, оценивается в 133–137 млн лет (Ханчук и др., 2011).

Для Тенькинского разлома В.Г. Шахтыров (2009) выделяет: 1) кинематически правосторонний складчатый этап флюидно-деформационной переработки терригенных углеродсодержащих толщ верхоянского комплекса ( $J_3$ ), сопровождаемый слабопроявленным магматизмом в форме даек или мелких штоков, прогрессивной стадией регионального метаморфизма и золото-сульфидным оруденением с тонким “невидимым” золотом; 2) кинематически левосторонний этап формирования метаморфогенно-гидротермального золото-кварцевого оруденения с крупным переотложенным золотом и сульфидами ( $K_1$ ); этот этап сопровождался более интенсивным магматизмом в форме даек, штоков, массивов средних размеров и регрессивной стадией регионального метаморфизма; золотоносность развивается по постмагматически гидротермальной модели с формированием золото-редкометалльного оруденения, обогащенного висмутом, теллуром, молибденом, оловом, вольфрамом; 3) последующие деформационные этапы ответственные уже за формирование постмагматических золото-сурьмяных проявлений и т.д. Дискретность рудообразования может быть связана не только со скачкообразным нарушением сплошности и соответственно сбросу давления в тектоническом процессе, но и поэтапным вовлечением в дегидратацию громадных масс осадочных пород при повышении *P-T* условий.

Тенькинский глубинный разлом контролирует несколько рудно-россыпных узлов (РРУ): Дегдеканский РРУ, включающий месторождения Токчан и Дегдекан; Омчакский РРУ с месторождениями Наталкинское, Омчак, Павлик; Пионерский РРУ – месторождения Родионовское, Клин, Игумновское (рис. 2).

<sup>1</sup> Сдвиги, образующие с главным разломом угол около 20° называются сдвигами Риделя (Riedel, 1929), синтетическими сдвигами, или R-сдвигами.



**Рис. 1.** Схема геологического строения вдоль Тенькинского глубинного разлома (составлена на основе Государственной геологической карты масштаба 1 : 500 000) и разрезы через месторождения золота. На врезке – положение рассматриваемого региона.

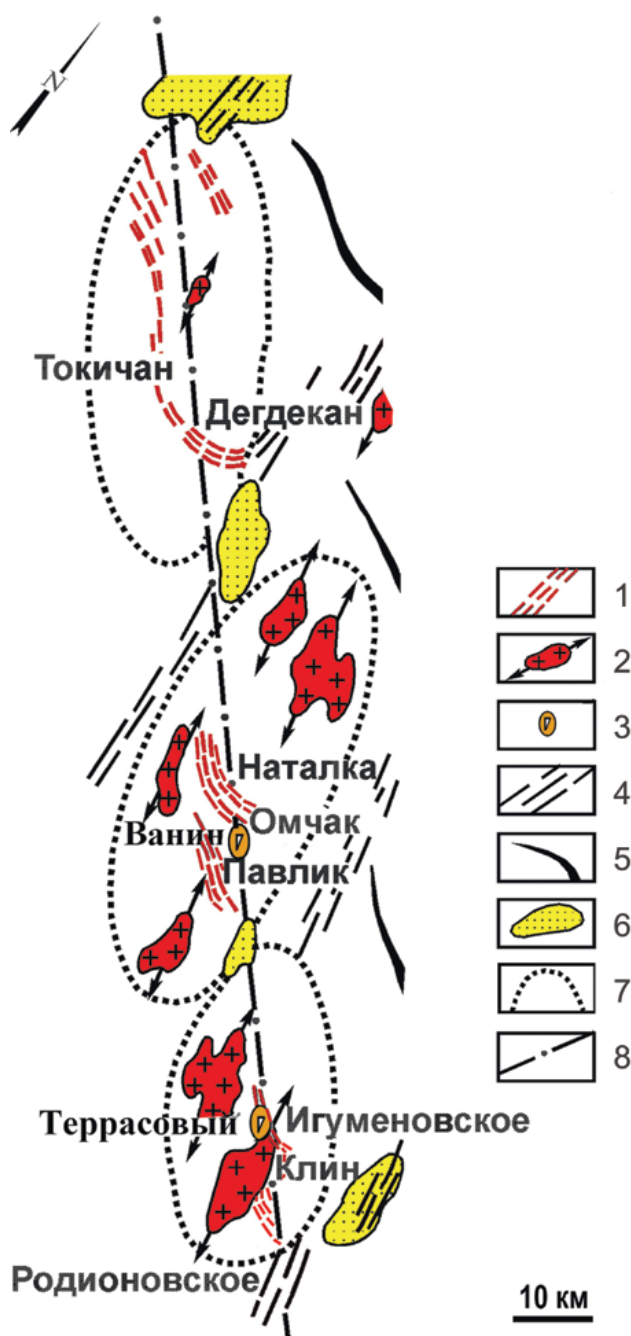
Цифры в кружках месторождения: 1 – Павлик, 2 – Токичан, 3 – Наталка, 4 – Омчак, 5 – Дегдекан, 6 – Родионовское, 7 – Игуменовское. 1 – аллювиальные отложения; 2 – триасовые отложения нерасчлененные (песчано-глинистая флишеидная толща); 3–7 – пермские отложения: 3 – старательская свита (неяснослоистые аргиллиты и алевролиты, реже глинистые песчаники, 900–1300 м); 4 – омчакская свита (аргиллиты, алевролиты, реже песчаники, флишеидно чередующиеся, 1550–1600 м); 5 – атканская свита (неслоистые и неяснослоистые, гравийные, галечные, реже валунные диамиктиты, 350–650 м); 6 – пионерская свита (монотонное переслаивание алевролитов и песчаников, 2300–2600 м); 7 – родионовская свита (флиш аргиллитов, алевролитов, верхняя часть обогащена песчаниками, 850 м); 8 – гранитоидные массивы; 9 – разломы (взбросо-сдвиги); 10 – осевая линия Тенькинского глубинного разлома (на схеме) и магистральные разломы (на разрезах); 11 – зоны золото-сульфидно-кварцевой прожилково-вкрапленной и жильно-прожилковой минерализации на разрезах; 12 – буровые скважины.

**Fig. 1.** Scheme of the geological structure along the Ten'kinsky deep fault (compiled on the basis of the State Geological Map at a scale of 1 : 500 000) and sections through gold deposits. The inset shows the position of the region under consideration.

Numbers in circles deposits: 1 – Pavlik, 2 – Tokichan, 3 – Natalka, 4 – Omchak, 5 – Degdekan, 6 – Rodionovskoe, 7 – Igumenovskoe. 1 – alluvial deposits; 2 – undivided Triassic deposits (sandy-argillaceous flysch); 3–7 – Permian deposits: 3 – Staratel'skaya Fm (unclear-bedded mudstones and siltstones, less often clayey sandstones, 900–1300 m); 4 – Omchak Formation (mudstones, siltstones, rarely alternating flysch sandstones, 1550–1600 m); 5 – Atkinskaya Fm (non-bedded and unclear bedded, gravel, pebble, less often boulder diamictites, 350–650 m); 6 – Pionerskaya Fm (monotonous interbedding of silts and sandstones, 2300–2600 m); 7 – Rodionovskaya Fm (flysch of mudstones, siltstones, the upper part is enriched with sandstones, 850 m); 8 – granitoid massifs; 9 – faults (reverse faults); 10 – axial line of the Ten'kinsky deep fault (in the diagram) and main faults (in the sections); 11 – zones of gold-sulfide-quartz veinlet-disseminated and vein-veinlet mineralization in the sections; 12 – boreholes.

В статье предложена структурно-вещественная модель размещения золоторудных месторождений Центрально-Колымского региона и рассмотрены основные структурные элементы этой модели, их

изменение в разрезе вместе с вещественными характеристиками руд и физико-химическими параметрами условий рудообразования.



**Рис. 2.** Рудно-россыпные узлы в зоне Тенькинского глубинного разлома. Структурно-металлогеническая схема по (Шахтыров, 2009), дополненная.

1 – свиты даек и разломы, вмещающие золото-кварцевое оруденение; 2 – гранитоидные массивы и ориентировка их длинной оси; 3 – крупные тела эруптивных брекчий; 4 – зоны складчатых разломов, устанавливаемые по геоморфологическим признакам; 5 – оси складок; 6 – четвертичные впадины; 7 – условные контуры рудных узлов; 8 – осевая линия Тенькинского глубинного разлома.

**Fig. 2.** Ore-placer clusters in the zone of the Ten'kinsky deep fault. Structural-metallogenic

scheme of software by (Shakhtyrov, 2009), with supplementes.

1 – formations of dikes and faults containing gold-quartz mineralization; 2 – granitoid massifs and orientation of their long axis; 3 – large bodies of eruptive breccia's; 4 – zones of interplacé faults, established by geomorphological features; 5 – axes of folds; 6 – Quaternary depressions; 7 – conditional contours of ore nodes; 8 – axial line of the Ten'kinsky deep fault.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

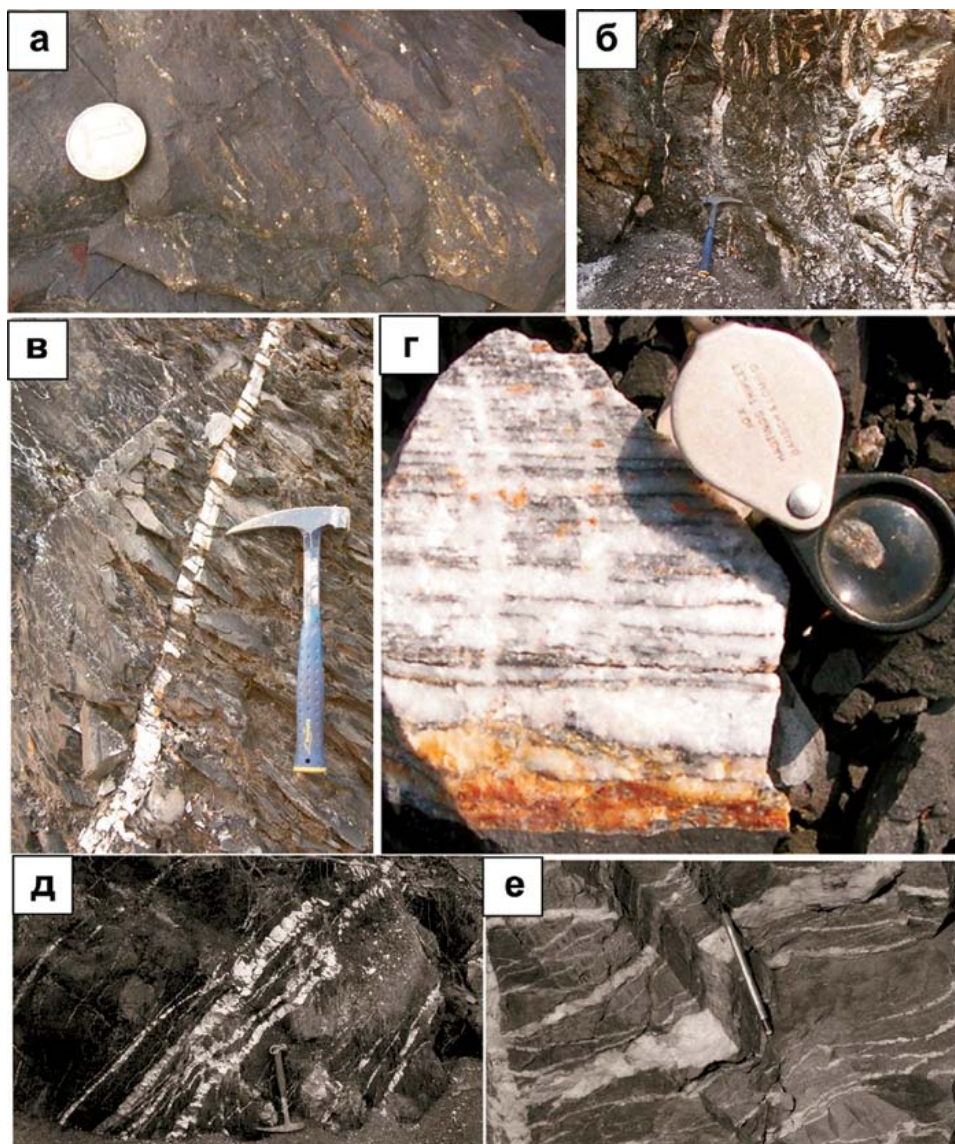
В геологии широко используется метод аналогий, и поэтому многочисленны работы, посвященные сравнительному анализу различных рудоносных территорий с хорошо изученными или известными эталонами. В основу статьи положены собственные исследования авторов на ряде крупных месторождений золота Центрально-Колымского региона. Эти исследования включали в себя геологическое картирование различных масштабов с применением методик структурно-парагенетического анализа вмещающих толщ (Эз, 1978; Паталаха, 1985; Морозов, 2002) и обязательной привязкой проявлений рудной минерализации к конкретным структурам; в ряде случаев использовались разнообразные статистические методы для геометризации оруденения, выявления закономерностей его размещения. Кроме того, проведен анализ многочисленной опубликованной литературы и фондовых материалов по рассматриваемым в статье орогенным золоторудным месторождениям Центрально-Колымского региона, в результате которого выполнено обобщение металлогенических, минералогических и термобарогеохимических характеристик этих объектов и сравнение их между собой.

## ДЕГДЕКАНСКИЙ РРУ

Расположенный на севере рассматриваемой территории Дегдеканский рудный узел включает в себя месторождение Токичан и более изученное месторождение Дегдекан (см. рис. 2).

Месторождение Дегдекан приурочено к пересечению зоны Тенькинского глубинного разлома полосой шириной до 6 км и сближенных субширотных разломов (взбросо-надвигов), азимут простираения 270–290°, падающих на север под углом 30–60° (Стружков и др., 2004ф; Voroshin et al., 2006). Они представлены зонами дробления, смятия, расслаивания часто с повышенной графитизацией, многочисленными зеркалами скольжения. Эти широтные разломы контролируют рудоносные кварцевые жилы (рис. 3а–г) и дайки диоритовых порфиров. Отмечается наложение рудоносных арсенопирит-кварцевых прожилков на дайки. Предполагается, что эти взбросо-надвиги являются оперяющи-





**Рис. 3.** Рудная минерализация на месторождениях Дегдекан (а–г) и Токичан (д, е).

а – вкрапленность пирита вокруг рудных зон; б – общий вид пологой рудной зоны смятия и прожилкового окварцевания; в – секущий крутопадающий прожилок кварца; г – “книжный” кварц; д, е – общий вид зон кварцевых прожилков в алевролитах и песчаниках (фото С.Ф. Стружкова).

**Fig. 3.** Ore mineralization at the deposits: а–г – Degdekan, д, е – Tokichan.

а – dissemination of pyrite around the ore zones; б – general view of the gently sloping ore zone of collapse and vein silicification; в – intersecting steeply dipping quartz vein; г – “book” quartz; д, е – general view of zones of quartz veinlets in siltstones and sandstones (photo by S.F. Struzhkov).

ми структурами по отношению к северо-западным взбросо-сдвигам сложного строения.

На месторождении **Дегдекан** выделяются два участка (Михайлов и др., 2010). Участок Дегдекан-жильный представлен 15 кварцево-жильными рудными телами с содержанием золота 2–11.5 г/т. На участке Верный канавами вскрыта серия мощных (до 120–160 м) протяженных (до 1 км) рудных тел, представляющих собой зоны смятия, рассланце-

вания и дробления с окварцеванием, сульфидизацией в переслаивающихся глинистых алевролитах и алевритистых аргиллитах с линзами мелкозернистых песчаников (см. рис. 3а, б). Часто развиты “книжные” текстуры кварца (см. рис. 3г). Продуктивная рудная минерализация в них представлена пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и самородным золотом (Литвиненко, 2009). Содержание золота составляет первые г/т.

По данным С.Ф. Стружкова с соавторами (2004ф), основная рудоконтролирующая структура на месторождении **Токичан** (см. рис. 1) – группа левосторонних сдвигов северо-западного простираения. Широко развиты надвиги и послейные срывы как северо-западного простираения с падением на северо-восток и юго-запад, так и северо-восточного – с падением на северо-запад. Эти структуры выражены пологими (углы падения 15–30°) зонами дробления, смятия, рассланцевания и графитизации пород, многочисленными зеркалами скольжения. Кинематическая схема формирования структуры месторождения **Токичан** представляется следующим образом (Стружков и др. 2004ф). В процессе регионального складкообразования векторы горизонтального сжатия были ориентированы на северо-восток и юго-запад, перпендикулярно к зоне Токичанского глубинного разлома. В связи с более интенсивной нарушенностью породы в зоне разлома были дополнительно смяты в складки более высоких (относительно Дегдекан-Токичанской антиклинали) порядков. При этом пластичные породы омчакской свиты отличаются развитием линейных изоклинальных складок, тогда как для более хрупких пород атканской свиты характерно развитие брахиморфных складок. С формированием линейной зоны складок высоких порядков связано образование системы рудовмещающих межпластовых срывов, поддвигов и надвигов.

Рудные зоны приурочены к надвигам и послейным срывам и представляют собой северо-западные (угол падения 15–30° на северо-восток или юго-запад) зоны окварцевания, рассланцевания, дробления пород с многочисленными прожилками, короткими извилистыми маломощными (в среднем 0.5 м) жилами и тонкой сульфидной вкрапленностью (см. рис. 3д, е). Мощность зон прожилково-вкрапленной минерализации составляет первые десятки метров, при средних содержаниях золота – первые г/т, иногда внутри этих зон наблюдаются маломощные жилы с высокими содержаниями золота. Всего на месторождении Токичан выделено 19 рудных тел (из них 10 с промышленными содержаниями золота). Наиболее промышленно значимыми по уровню содержания золота являются жила 1 (протяженность 500 м) и жила 4 (протяженность 200 м) со средним содержанием золота 11.8 г/т.

Для жил характерны книжные и брекчиевые текстуры и совмещение различных стадий минералообразования. Состав жил – кварц, железистый карбонат, кальцит, полевошпат, серицит, мусковит, рутил. Рудных минералов в среднем 3–5%, распределение неравномерное, от полного отсутствия до 50–60 об. %. Наиболее распространен арсенопирит, реже пирит, галенит и сфалерит, в подчиненном количестве халькопирит, пирротин, шеелит, самородное золото, пираргирит, акантит, полибазит.

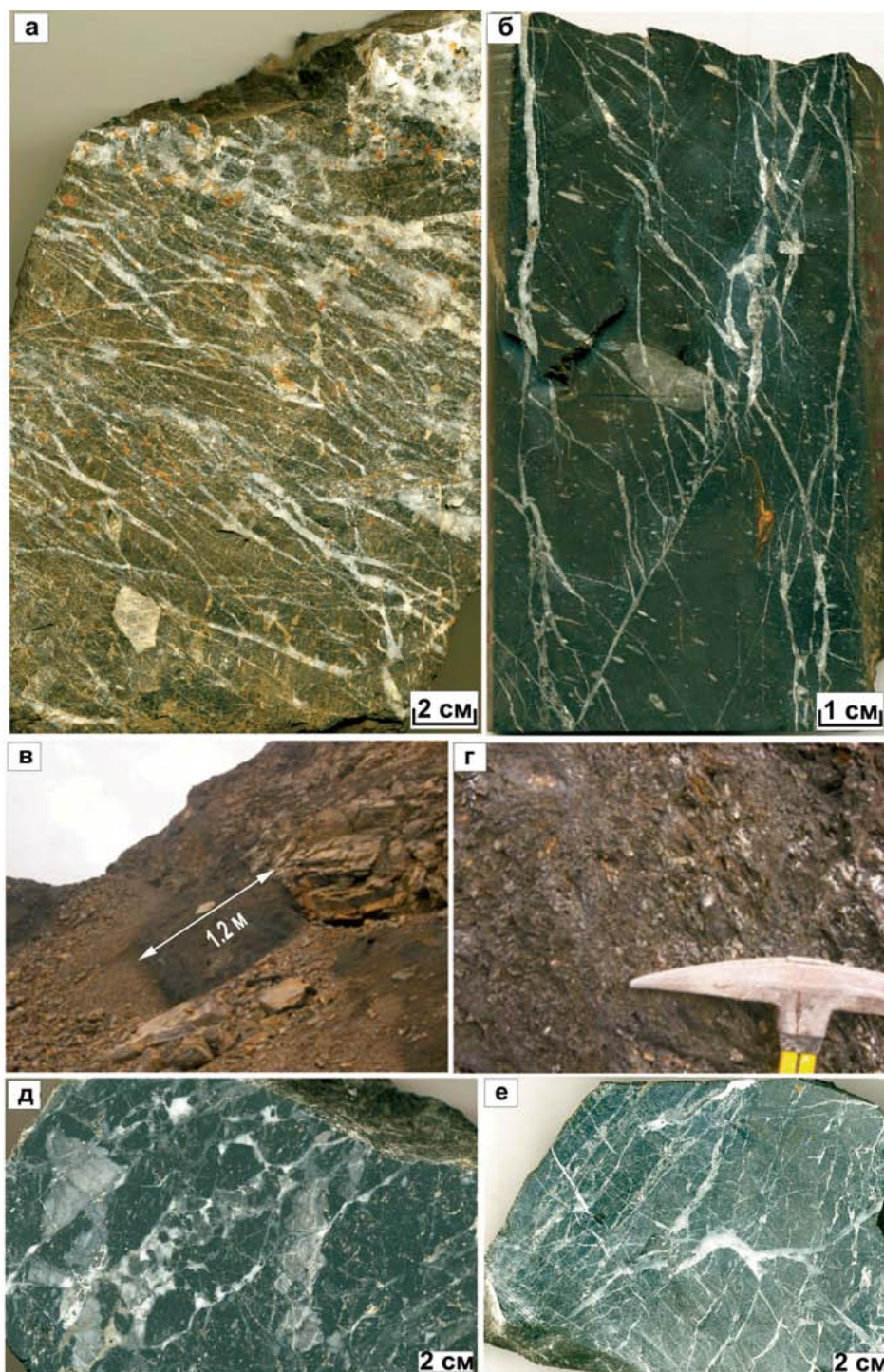
## ОМЧАКСКИЙ РРУ

Омчакский рудно-россыпной узел наиболее золотоносный в Яно-Колымской минерагенической провинции и включает в себя месторождения Наталка, Омчак и Павлик (см. рис. 2). Все эти большеобъемные штокверковые объекты одного структурно-морфологического типа относятся к золото-сульфидно-кварцевой формации. Суммарное количество сульфидов в рудах 0.5–1.0%. Одним из поверхностных выражений Тенькинского сдвига здесь является Омчакский разлом крутого (70–75°) северо-восточного падения, представленный серией субпараллельных трещин, зон дробления и развальцевания.

Для месторождения **Наталкинское** (Гончаров и др., 2002) основная рудоконтролирующая структура – это крупная зона разломов северо-западного (320–350°) простираения шириной 1.0 км и протяженностью 12 км (см. рис. 2), образующая с простираением осадочных пород углы 35–40°. Среди этих разломов выделяется Стержневой разлом (западная рудоконтролирующая структура), ориентированный по азимуту 330–350° с падением на восток-северо-восток под углами 90–70° (Ворожбенко и др., 2006). Другой важный элемент строения месторождения – Восточная рудовмещающая структура, представленная серией сближенных тектонических нарушений (бывшие рудные зоны 33, 45, 30) с крутым падением и простираением по азимуту 330°. Но с глубиной отмеченные разломы имеют тенденцию к выполаживанию до 50° (см. рис. 1). Достоверная информация о выполаживании разломов получена лишь в результате разбуривания глубоких горизонтов месторождения в 2004–2006 гг. (Голубев, 2008). В районе профиля – 30 западная и восточная структуры сочленяются (Ворожбенко и др., 2006). К северу от места сочленения прослеживается один Стержневой разлом с оперяющими нарушениями. Сочетание данных систем разрывных нарушений обуславливает разделение минерализованной зоны месторождения на две ветви. В центральной части месторождения между отмеченными структурами располагается зона трещиноватости и прожилкования (бывшая рудная зона 3), имеющая встречное по отношению к другим структурам падение под углом 40–60° на запад-юго-запад. Зона полого погружается в южном направлении под углом 10–15°.

На юге, где Наталкинская зона сочленяется с Омчакским разломом, она испытывает плавный перегиб в широтном направлении. Разрывные нарушения – взбросо-сдвиги, обратные взбросы и сдвиги с амплитудами перемещения крыльев до 700–800 м. Падение рудовмещающих сбросов северо-восточное, 45–60°, с постепенным выполаживанием вниз (см. рис. 1). Породы в зонах и вблизи зон разломов сильно смяты и развальцованы (превращены в чешуйчато-пластинчатый тектонит) мощностью 2–20 м. Швы сопровождаются тонкосетчатым окварцеванием (рис. 4а, б).





**Рис. 4.** Рудная минерализация на месторождениях Наталка (а, б) и Павлик (в–е).

а – тонкосетчатое окварцевание в алевролитах; б – тонкие прожилки кварца с арсенопиритом в диамиктитах; в – зона взбросо-сдвига в карьере, выполненная тонкоперетертыми углеродистыми милонитами; г – углеродистые милониты в зоне взбросо-сдвига; д – брекчированный, окварцованный алевролит с сульфидной вкрапленностью; е – алевролит с тонкосетчатым окварцеванием.

**Fig. 4.** Ore mineralization at the Natalka (a, б) and Pavlik (в–е) deposits.

а – fine-mesh silicification in siltstones; б – thin veins of quartz with arsenopyrite in diamictites; в – zone of upthrust-shear in the quarry, filled with finely grained carbonaceous mylonites; г – carbonaceous mylonites in the reverse-strike-slip zone; д – brecciated, silicified siltstone with sulfide dissemination; е – siltstone with fine-mesh silicification.

В плане рудные зоны образуют пучок протяженностью около 5 км и шириной 100–600 м. По структурно-морфологическим особенностям выделено (Межов, 2000) четыре типа рудных зон: прожилково-метасоматический, прожилково-жильный, жильный и минерализованные зоны смятия – дробления. Выявлена следующая последовательность событий: метаморфогенные жилы хлорит-карбонат-кварцевого состава → дайки спессартитов → дайки риолитов → основные гидротермальные руды → риолитовые брекчии → массивы и штоки гранитоидов.

На месторождении **Омчак**, расположенном фактически на сопряжении Наталкинской разрывной зоны с Омчакским разломом (см. рис. 1), крутопадающие рудовмещающие структуры образуют левосторонний сдвиговый эшелон, имеют северо-западное простирание ( $290\text{--}300^\circ$ ) с разворотом к широтному, падение на северо-восток ( $50\text{--}65^\circ$ ), реже – на юго-запад (Гончаров и др., 2002). Всего выявлено 15 рудных тел, причем в двух из них сосредоточено более 50% запасов золота. Морфология тел сложная – линейно-сетчатая, при протяженности 60–330 м и мощности до 15 м. Содержания золота варьируют от 2.4 до 24.1 г/т. Рудные тела осложнены пострудными сбросами северо-западного и северо-восточного простирания с амплитудами смещений до 100–150 м.

На месторождении **Павлик** генеральное простирание рудных зон –  $300^\circ$ , падение северо-восточное –  $40\text{--}70^\circ$ , в сумме они образуют линейный штокверк, с размерами  $2100 \times 1000$  м (см. рис. 1). Основными элементами структуры, оказавшими влияние на размещение оруденения, являются запад-северо-западные разломы, оперяющие Омчакскую зону. На месторождении серия листрических разломов взбросо-сдвиговой кинематики (Савчук и др., 2018) образует мощный (300–400 м) тектонический пакет, в котором отчетливо выделяются верхний взбросо-надвиг (к нему приурочена рудная зона №9) и нижний взбросо-сдвиг (контролирует рудную зону №1). Залегание верхней структуры порядка  $45^\circ$ , а нижней – более крутое –  $70\text{--}80^\circ$ . Мощности наиболее проработанных зон 5–10 м, они выполнены тонкоперетертыми углеродистыми милонитами, содержащими разновеликие будины – “окатыши” черных алевролитов (рис. 4в, г).

Между этими структурами заключена крупная зона объемной трещиноватости, где породы пронизаны мелкими кварцевыми и кварц-карбонатными прожилками и насыщены вкрапленностью сульфидов (рис. 4д, е). Такие особенности обусловили в целом пологий, погружающийся на северо-восток под углом  $40\text{--}45^\circ$  характер мощного рудного штокверка (Савчук и др., 2018). Золотое оруденение с промышленными параметрами прослежено скважинами на глубину до 750 м от поверхности. Золотоносные интервалы со средними содержаниями в пределах 2.5 г/т имеют мощности от 25–50 до

120 м. При этом внутри них выделяются рудные интервалы мощностью 5–10 м с содержаниями золота до 10 г/т.

Судя по ориентировке трещинных структур месторождения Павлик (Савчук и др., 2018), первоначально по Омчакскому разлому происходили правые сдвиго-взбросовые перемещения, что сопровождалось образованием оперяющих взбросо-надвигов и внедрением даек диоритовых порфириров. Этот этап, по-видимому, является дорудным, подготовительным. В следующий этап произошла смена знака перемещений на левосторонние, приоткрытие ранее заложенных нарушений (взбросо-надвигов, трещин скола) и отложение золотоносных минеральных ассоциаций.

## ПИОНЕРСКИЙ РРУ

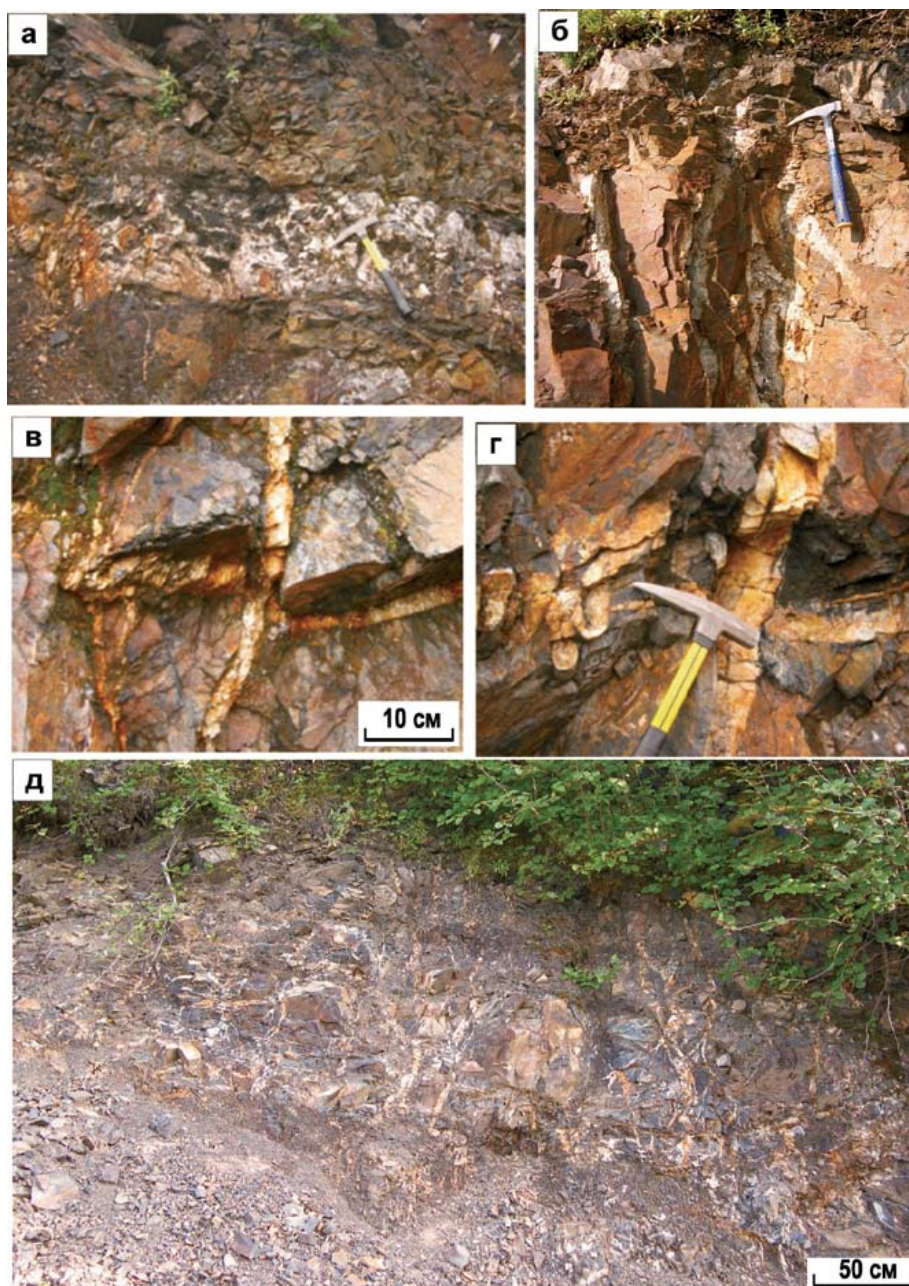
К юго-восточному флангу Тенькинского разлома приурочен Пионерский рудный узел с месторождениями Игуменовское и Родионовское (см. рис. 2).

На **Игуменовском** месторождении выявлено 9 перспективных прожилково-жильных рудных зон мощностью от 10 до 30 м, протяженностью до 700 м. Размах оруденения от 40 до 230 м, среднее содержание золота 1.8 г/т. Рудные зоны представлены выдержанными жилами и прожилками северо-западного простирания с четкими линейными контактами, крутым падением на северо-восток, протяженностью первые километры (Ворошин, 2005). Л.В. Фирсов (1985) выделял игуменовский тип месторождений – крутопадающие, секущие слоистость, протяженные, параллельно-зальбандовые, иногда линзовидные и ветвящиеся жилы в пологих крупных антиклиналях, сложенных песчано-сланцевыми толщами.

На месторождении **Родионовское** пологая надвиговая зона, падающая на северо-восток по азимуту  $30^\circ$  и под углом порядка  $10\text{--}15^\circ$  (см. рис. 1), картируется на поверхности по простиранию на 400 м, а подземными горными выработками прослежена на 700–800 м. Зона сложена интенсивно смятыми, милонитизированными и рассланцованными породами, содержащими линзовидные кварцевые жилы мощностью до 1.5 м, содержащими многочисленные обломки вмещающих пород, зоны интенсивного и разно ориентированного штокверкового прожилкования с содержанием кварца до 60–70%.

В целом месторождение Родионовское представляет собой пологий штокверк, в котором выделяются как пологозалегающие (рис. 5а), так и крутопадающие жилы и прожилки (рис. 5б–г), образующие сложную, “многоэтажную” структуру рудных зон (Волков и др., 2016б, 2017). Последние, мощностью 50–150 м, прослежены бурением до глубины 150–200 м от поверхности. Средние со-





**Рис. 5.** Рудная минерализация на месторождении Родионовское.

а – пологая кварцевая жила в надвиговой зоне; б – секущие кварцевые прожилки в лежащем боку пологой жилы; в – секущие кварцевые прожилки в висячем боку пологой жилы; г – деформация более раннего кварцевого прожилка на контакте с крутопадающей жилкой; д – мощная зона тонкопрожилкового окварцевания в висячем боку надвиговой зоны.

**Fig. 5.** Ore mineralization at the Rodionovskoye deposit.

а – shallow quartz vein in the thrust zone; б – crosscutting quartz veins in the recumbent side of a gently sloping vein; в – crosscutting quartz veins in the hanging side of a shallow vein; г – deformation of an earlier quartz vein at the contact with a steeply dipping vein; д – a powerful zone of thin-veined silicification in the hanging side of the thrust zone.

держания золота составляют 0.76–1.8 г/т. Основа в зонах – пологие кварцевые жилы с гнездами карбоната и редкой вкрапленностью пирита и арсенопирита мощностью 0.5–1.5 м. Как правило, выше и

ниже этих жил по многочисленным трещинам развивается прожилковое (1–5 см) окварцевание мощностью до нескольких метров (рис. 5д). Рудная минерализация (в среднем 3–5%, редко до 10%), име-

ющая полихронный характер, приурочена к залёбандам кварцевых жил и прожилков, представлена арсенопиритом, пиритом, реже халькопиритом, сфалеритом, галенитом и золотом, по данным А.И. Волкова с соавторами (2009).

## ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнении особенностей строения золотых месторождений, входящих в Дегдеканский, Омчакский и Пионерский РРУ, расположенных в зоне влияния Тенькинского глубинного сдвига, отчетливо видна однотипность рудовмещающих структур. Повсеместно это либо пологие надвиговые, либо взбросовые наклонные и выполаживающиеся вниз (листрические) зоны сложного строения. Обычно это два или более субпараллельных тектонических шва, представленных углеродистыми милонитами небольшой мощности (от долей до нескольких метров), между которыми развивается крупная зона объемной трещиноватости. Взбросо-надвиговые швы, а также расположенные между ними системы трещин вмещают жилы, прожилки кварца и контролируют окаймляющие их метасоматиты с сульфидной вкрапленностью, в сумме образуя объемные рудоносные штокверки. В целом такое сочетание структурных элементов (Савчук и др., 2018) характерно для транспрессионного правого сдвига-взброса (Морозов, 2002). В то же время, несмотря на близкое размещение месторождений в единой структуре Тенькинского глубинного сдвига (см. рис. 1, 2), они имеют различия как в параметрах, так и в структурно-вещественных характеристиках.

## Рудовмещающие породы

Наиболее заметны различия в возрасте рудовмещающих пород. На рассматриваемой территории развиты отложения нижней и средней-верхней перми (возраст подразделений по (Гончаров и др., 2002) с учетом изменений, принятых для пермского периода в 2004 г. в Казани): родионовской  $P_{1rd}$ , пионерской  $P_{1pn}$ , атканской  $P_{2,3at}$  и омчакской  $P_{2,3om}$  свит. Распределение месторождений в разрезе пермских отложений неравномерное (табл. 1), на что указывал В.И. Гончаров с соавторами (2002) на примере положения золотого оруденения Наталка, Омчак и Павлик и С.Ф. Стружков с соавторами (2009) для всего Центрально-Колымского региона.

В самом низу разреза, в родионовской  $P_{1rd}$  свите, располагаются месторождения Игуменовское и Родионовское. Выше по разрезу, в пионерской  $P_{1pn_1-pn_2}$  свите, находится месторождение Дегдекан, а в верхней части – в пионерской  $P_{1pn}$ , атканской  $P_{2,3at}$  и омчакской  $P_{2,3om}$  свитах – месторождения Наталка, Омчак и Павлик. Таким образом, золотое оруденение “размазано” по разрезу, но наи-

более крупные объекты приурочены к его верхней части. Месторождение Токичан, по-видимому, приурочено к небольшим взбросо-надвигам непосредственно рядом с магистральным северо-западным сдвигом.

## Углы падения рудовмещающих структур

Для рассматриваемых месторождений наиболее важен структурный контроль, что неоднократно отмечалось исследователями (Шахтыров, 1997; Гончаров и др., 2002; Фридовский, 2002; Гамянин и др., 2018). Как показано выше, этот контроль выражается в приуроченности рудных жил и зон к разрывным нарушениям взбросо-надвиговой природы, которые в случае сравнительно крутого падения постепенно выполаживаются с глубиной. В связи с этим обратим внимание на углы падения рудовмещающих нарушений (см. табл. 1) в зависимости от их положения в разрезе терригенной толщи. Отдельно отметим месторождение Омчак, рудовмещающие структуры которого формируют собственно Омчакский разлом и для которого характерны крутые углы падения (Гончаров и др., 2002) и Игуменовское, также располагающееся в магистральном нарушении. Остальные объекты контролируются структурами с изменяющимися углами падения, причем для Родионовского месторождения это почти горизонтальное залегание, для Дегдекана –  $30-40^\circ$  (Михайлов и др., 2010), а для Наталки и Павлика – уже  $45-70^\circ$  (Гончаров и др., 2002; Савчук и др., 2018). Фактически вверх по разрезу углы падения рудовмещающих нарушений закономерно увеличиваются, т.е. эти нарушения от надвиговых внизу постепенно переходят во взбросовые в верхней части.

## Запасы и ресурсы

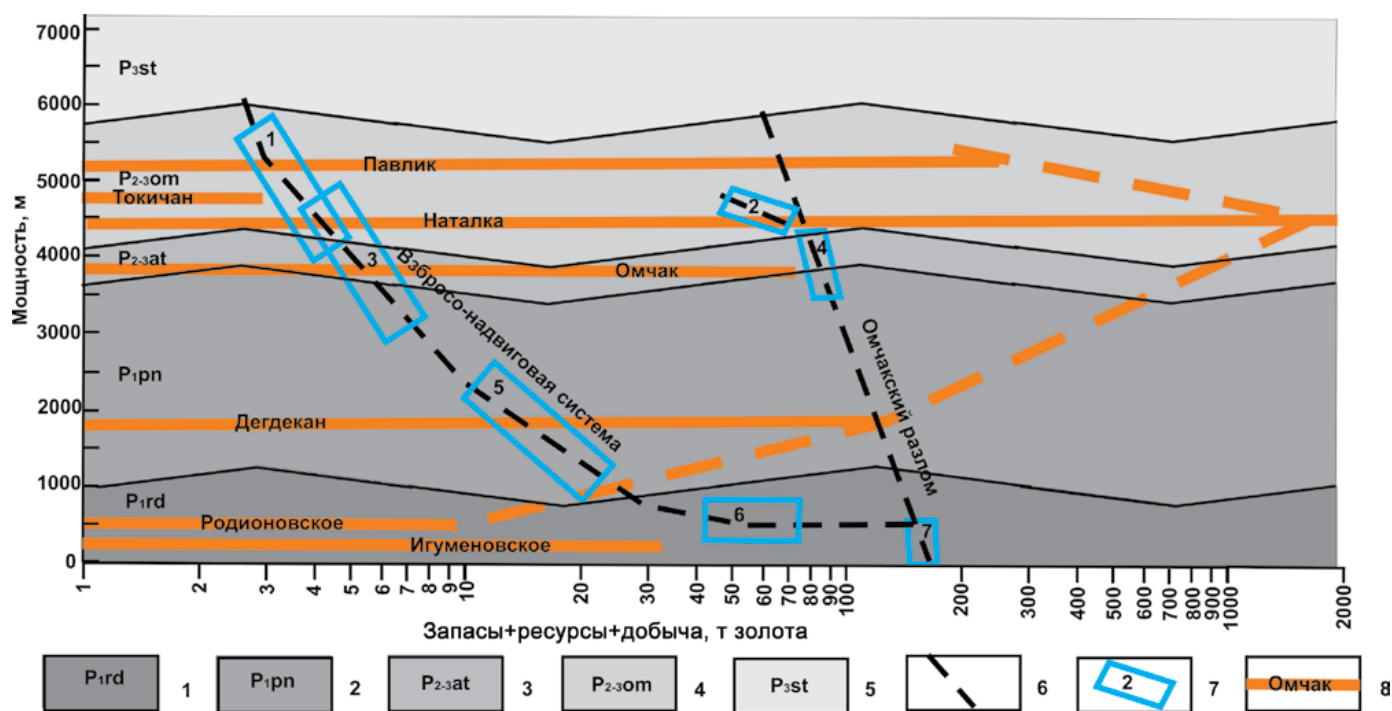
Месторождения, расположенные внизу разреза (Игуменовское, Родионовское, Дегдекан) мелкие, запасы составляют первые до первых десятков тонн золота, расчеты ресурсов часто зависят от авторских взглядов и варьируют от нескольких десятков до первых сотен тонн. В то же время для них характерны порой очень высокие содержания и присутствие крупных самородков золота (Игуменовское). Наиболее крупные золоторудные объекты – Наталка и Павлик – расположены в верхней части разреза, в основном в омчакской свите. Запасы и ресурсы этих месторождений составляют многие сотни тонн золота, а средние содержания более выдержанные и сравнительно низкие –  $1.5-2.5$  г/т. Например, запасы и ресурсы Наталки оцениваются в 1510 т (Государственный доклад..., 2018).

Сводная структурная модель области рудообразования месторождений золота Дегдеканского, Омчакского и Пионерского РРУ представлена на рис. 6.

**Таблица 1.** Положение месторождений золота в разрезе пермских отложений и изменение углов падения рудовмещающих структур

**Table 1.** Position of gold deposits in the section of Permian deposits and change in the dip angles of ore-bearing structures

№ п/п	Месторождение	Рудовмещающие отложения	Углы падения рудовмещающих структур
1	Павлик	Атканская $P_{2-3at}$ , омчакская $P_{2-3om}$ свиты	45–70°
2	Токичан	Верхи атканской $P_{2-3at}$ , низы омчакской $P_{2-3om}$ свиты	15–30°
3	Наталка	Пионерская $P_{1pn}$ , атканская $P_{2-3at}$ , омчакская $P_{2-3om}$ свиты	45–60°
4	Омчак	То же	Крутые
5	Дегдекан	Пионерская $P_{1pn_1-pn_2}$ свита	30–45°
6	Родионовское	Родионовская $P_{1rd}$ свита	0–15°
7	Игуменовское	То же	Крутые



**Рис. 6.** Сводная структурная модель области рудоотложения коренных месторождений золота Дегдеканского, Омчакского и Пионерского РРУ в разрезе пермских отложений.

1–5 – терригенные отложения различных свит пермского возраста: 1 – родионовской, 2 – пионерской, 3 – атканской, 4 – омчакской, 5 – старательской, 6 – разрывные нарушения, 7 – позиция конкретного месторождения (номера из табл. 1), 8 – уровень продуктивности позиции: запасы + ресурсы + добыча (по данным (Стружков и др., 2009; Государственный доклад..., 2018; сайты: [www.nedradv.ru](http://www.nedradv.ru), [www.polyus.com](http://www.polyus.com), [www.arlan.ru](http://www.arlan.ru)).

**Fig. 6.** Consolidated structural model of the ore deposition area of primary gold deposits of the Degdekansky, Omchaksky and Pionersky RRU in the context of the Permian deposits.

1–5 – terrigenous deposits of various formations of the Permian age: 1 – Rodionovskaya, 2 – Pioneer, 3 – Atka, 4 – Omchak, 5 – Staratel'skaya, 6 – faults, 7 – position of deposit (numbers from Table 1), 8 – the level of productivity of the position: reserves + resources + production (according to (Struzhkov et al., 2009; State report ..., 2018); sites: [www.nedradv.ru](http://www.nedradv.ru), [www.polyus.com](http://www.polyus.com); [www.arlan.ru](http://www.arlan.ru)).



### Состав руд

По данным исследований Е.Е. Тюковой и С.В. Ворошина (2007), минеральный состав месторождений относительно простой: арсенопирит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, самородное золото. Кроме того, на некоторых объектах встречаются свинцово-сурьмяные сульфосоли, блеклые руды и антимонит, что объясняется полихронностью рудообразования (Волков и др., 2009). К числу редких минералов относятся пирротин, сульфиды и сульфоарсениды кобальта и никеля, минералы серебра. Суммарное количество сульфидов в рудах не превышает 1–5%. Основу руд составляет кварц, и здесь уже наблюдаются значительные вариации на разных месторождениях (см. рис. 3–5). Так, на Родионовском и Дегдекане это в основном жильно-прожилковая минерализация, а прожилково-вкрапленная окаймляет рудные зоны; на Наталке, кроме жильно-прожилковой, уже достаточно развита прожилково-вкрапленная, а на Павлике последняя преобладает и составляет основную массу руд. Эти факты хорошо отразились в данных химического состава руд – в этом ряду наблюдается заметное снижение содержаний  $\text{SiO}_2$  (табл. 2).

Особенности состава руд месторождений Родионовское, Наталкинское и Токичан ранее охарактеризованы А.В. Волковым с соавторами (2016а), нами добавлены результаты анализов по месторождениям Дегдекан и Павлик (см. табл. 2). В соста-

ве изученных образцов руд, расположенных в ряду Родионовское–Дегдекан–Наталкинское–Павлик (т.е. снизу вверх по гидротермальной колонне), средние значения  $\text{SiO}_2$  закономерно снижаются от 94.35 до 63.69%. На этом фоне некоторые другие окислы также закономерно повышаются, %:  $\text{TiO}_2$  – от 0.09 до 0.7,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – от 2.66 до 14.42,  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$  – от 0.82 до 5.35,  $\text{MnO}$  – от 0.02 до 0.12,  $\text{MgO}$  – от 0.19 до 1.82,  $\text{K}_2\text{O}$  – от 0.10 до 2.45, и  $\text{S}_{\text{общ}}$  – от 0.15 до 0.43. Остальные окислы –  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$  – ведут себя не столь однозначно. На этом фоне заметно выделяется месторождение Токичан, своими высокими концентрациями  $\text{CaO}$  (5.83%),  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$  (5.98%) и  $\text{S}_{\text{общ}}$  (5.48%), что, по-видимому, связано с наложенной минерализацией (Волков и др., 2016а). В то же время авторы не исключают вариант, что эти отмеченные тенденции могут быть связаны также с составом материала, отобранного в пробу.

### Параметры рудообразующих флюидов

Различное положение месторождений в разрезе (разница по глубине залегания до 5–6 км) должно было отразиться и на параметрах рудообразующих флюидов. Исследования флюидных включений в кварце по большинству обсуждаемых месторождений имеются в литературе (табл. 3). По месторождению Павлик приведены наши данные изучения флюидных включений в кварце рудных жил и прожилков.

**Таблица 2.** Состав руд месторождений по простиранию Тенькинского глубинного разлома, мас. %

**Table 2.** Composition of ores from deposits along the Ten'kinsky deep fault, wt %

Компоненты	Месторождения				
	Родионовское	Дегдекан	Наталкинское	Павлик	Токичан
n	6	7	5	52	9
$\text{SiO}_2$	94.35	88.07	82.64	63.69	69.92
$\text{TiO}_2$	0.09	0.13	0.23	0.70	0.09
$\text{Al}_2\text{O}_3$	2.66	2.90	5.75	14.42	3.08
$\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$	0.82	1.26	1.50	5.35	5.98
$\text{MnO}$	0.02	0.023	0.04	0.12	0.18
$\text{MgO}$	0.19	0.54	0.68	1.82	0.88
$\text{CaO}$	0.52	1.49	1.37	3.28	5.83
$\text{Na}_2\text{O}$	0.99	0.74	1.81	3.39	0.53
$\text{K}_2\text{O}$	0.10	0.38	0.53	2.45	0.59
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.06	0.07	0.04	0.195	0.04
$\text{S}_{\text{общ}}$	0.15	0.34	0.39	0.43	5.48
П.п.п.	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00
$\Sigma$	99.92	97.38	94.98	95.85	92.59

Примечание. Рентгено-флуоресцентный анализ, лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик А.И. Якушев; п.п.п. – потери при прокаливании; n – количество проб.

Note. X-ray fluorescence analysis, laboratory of IGEM RAS, analyst A.I. Yakushev; п.п.п. – loss on ignition; n is the number of samples.

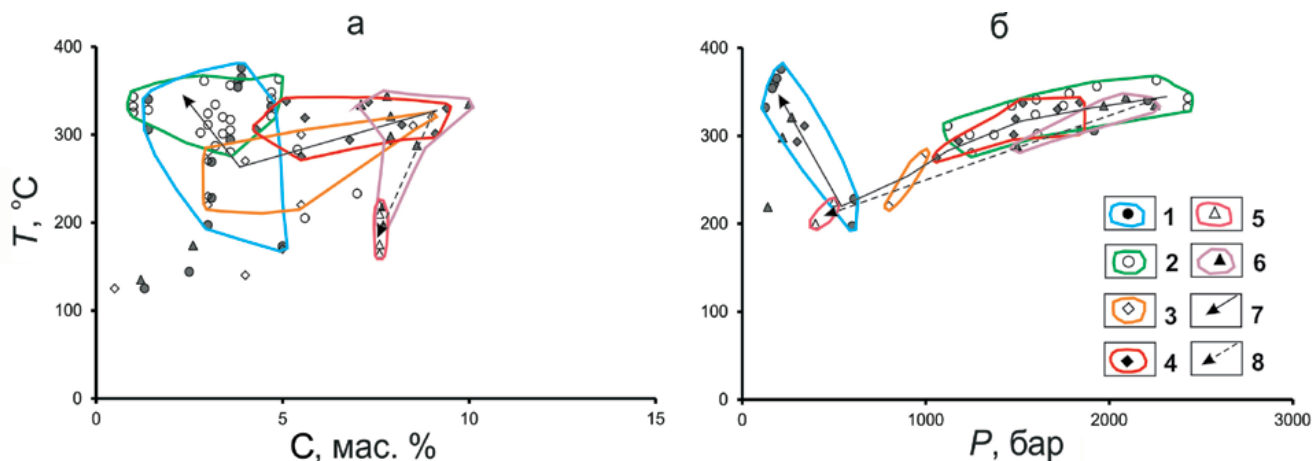
**Таблица 3.** Основные параметры флюидов месторождений золота Тенькинской сдвиговой зоны

**Table 3.** Main parameters of fluids of gold deposits Ten'ka strike-slip zone

№ п/п	Месторождение	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	C, мас. %-экв. NaCl	P, бар	Лит. источник
1	<b>Павлик</b>	125–376	1.3–4.7	130–2370	Наши данные
2	Токичан	200–225	7.6	400–500	(Стружков и др., 2008)
3	<b>Наталка</b>	205–361	1.0–7.0	1120–2430	(Горячев и др., 2008)
4	<b>Дегдекан</b>	125–320	0.5–9.0	–	(Ворошин, 2005)
		220–280	3.0	800–1000	(Стружков и др., 2008)
5	<b>Родионовское</b>	275–338	5.1–9.1	300–1720	(Волков и др., 2016а; 2017)
6	Игуменовское	135–447	1.2–8.4	140–2250	То же

Примечание. Номера соответствуют таковым на рис. 1 и 6; полужирным шрифтом выделены месторождения в оперяющих сдвиге-взбросах и надвигах, обычным шрифтом набраны месторождения, приуроченные к самой зоне Тенькинского сдвига.

Note. The numbers correspond to those in Fig. 1 and 6; deposits in feathering strike-slip faults and thrust faults are marked in bold; the usual type shows the deposits confined to the Ten'ka strike-slip zone itself.



**Рис. 7.** Диаграммы “температура – солёность” (а) и “температура – давление” (б) для минералообразующих флюидов (результаты определений и их поля для изученных месторождений см. табл. 3).

1 – Павлик, 2 – Наталка, 3 – Дегдекан, 4 – Родионовское, 5 – Токичан, 6 – Игуменовское; 7, 8 – тренды изменения показателей на месторождениях: 7 – стрелка по восстанию рудовещающих взбросо-сдвигов (Родионовское → Дегдекан → Наталка → Павлик), 8 – стрелка по восстанию структур Тенькинского сдвига (Игуменовское → Токичан).

**Fig. 7.** Diagrams “temperature – salinity” (a) and “temperature – pressure” (b) for mineral-forming fluids (the results of determinations and their fields for the studied deposits see Table 3).

1 – Pavlik, 2 – Natalka, 3 – Degdekan, 4 – Rodionovskoe, 5 – Tokichan, 6 – Igumenovskoe; 7, 8 – trends of changes in indicators at deposits: 7 – arrow on the uprising of ore-bearing reverse faults (Rodionovskoe → Degdekan → Natalka → Pavlik), 8 – arrow on the uprising of the structures of the Ten'ka shift (Igumenovskoe → Tokichan).

Если сравнить минералообразующие флюиды на месторождениях региона, то обнаруживается их сходство по основным параметрам: температуре, давлению и солёности (см. табл. 3, рис. 7). Иначе говоря, флюиды всех обсуждаемых месторождений могут принадлежать к генетически сходным гидротермальным рудообразующим системам либо к единой региональной флюидной системе. В то

же время, если рассматривать эти месторождения в единой гидротермальной колонне (как показано на рис. 6), можно наблюдать определенные тенденции в изменении этих параметров.

Интерпретируя эти данные (см. рис. 7), можно сделать следующие выводы:

– для показателей “температура–солёность” наблюдаются два разнонаправленных тренда: один – от

Игуменовского к Токичану – характеризует обстановку на разных уровнях рудоподводящего Тенькинского (Омчакского) разлома; второй – для ряда Родионовское–Дегдекан–Наталка–Павлик – показывает изменение параметров в зонах рудоотложения;

- для месторождений Игуменовское–Токичан, характеризующих соответственно нижнюю и верхнюю части рудоподводящего Тенькинского разлома, видно слабое падение солёности при резком падении температуры (от 300 до 150°C) и давления (от 2000 до 500 бар);

- в ряду месторождений Родионовское–Дегдекан–Наталка–Павлик при усреднении показателей наблюдается резкое уменьшение солёности при более или менее выдержанных температурных параметрах на фоне резкого падения давления;

- в поле “температура–солёность” выделяется наиболее низкотемпературная область (100–150°) с очень низкой солёностью, в которую попадают анализы по Дегдекану, Наталке и Павлику, вероятно отмечающие развитие на этих объектах ассоциаций из остаточных растворов, завершающих гидротермальный процесс;

- в поле “температура–давление” тренды для разных обстановок вначале практически параллельны и близки, но в области низких давлений, для Павлика, Родионовского и Игуменовского месторождений выделяется область, в которой рудообразование происходило при высокой температуре (300–380°), но фактически при минимальном давлении, т.е. в приоткрытых полостях, в отличие от общей части тренда, где параметры соответствуют низким температурам (около 200°), но давлении 600–800 бар.

### Состав рудообразующих флюидов

Рудообразующие флюиды месторождений в черносланцевых толщах Яно–Колымского складчатого пояса, в том числе и большинства рассматриваемых нами объектов, ранее уже был подробно проанализирован (Волков и др., 2016а). Валовый анализ химического состава флюидов из включений показал сходство флюидов изученных месторождений по содержаниям основных компонентов. В то же время некоторые особенности состава флюидов могут свидетельствовать об их закономерной изменчивости в зависимости от обстановки в области рудообразования. Так, среди катионов во флюидах доминировал натрий над калием, причем на Игуменовском и Родионовском месторождениях натрия значительно больше, чем на Наталке и Павлике. Среди анионов на Игуменовском и Родионовском преобладал гидрокарбонат, концентрации которого были существенно выше хлора, а на Наталке и Павлике доминировал хлор. Среди растворенных газов в рудообразую-

щих флюидах преобладала углекислота. Эти данные могут свидетельствовать о латеральной смене состава флюидов.

### ВЫВОДЫ

Проведен анализ рудовмещающих нарушений на золоторудных месторождениях вдоль зоны Тенькинского глубинного разлома, размещенных в песчано-сланцевых породах пермского возраста. Основным типом нарушений здесь являются пологие надвиги и взбросо-сдвиги, выполаживающиеся по падению. На основе структурных построений, учитывающих углы падения этих нарушений, реставрирована **гидротермальная колонна**, в нижней части которой располагается месторождение Родионовское, затем Дегдекан, Наталка и в верхней части – Павлик. Общий вертикальный размах такой колонны более 5 км. Проявления, располагающиеся непосредственно в зоне и вблизи рудоподводящего Тенькинского (Омчакского) разлома, имеют сравнительно небольшие масштабы (Игуменовское, Омчак, Токичан), более благоприятны опояривающие рудовмещающие взбросо-надвиговые структуры на удалении 2–5 км от него. На основе этой модели сделан важный вывод, что ниже по уровню месторождения Павлик, являющегося верхней частью колонны, может располагаться крупнообъемное месторождение, подобное Наталке.

В рамках этой структурной модели находит объяснение смена вещественных характеристик, полученных различными аналитическими данными: снизу вверх резко уменьшается солёность рудообразующих флюидов при выдержанных температурных параметрах и на фоне резкого падения давления; в составе анионов наблюдается смена доминирования гидрокарбонатов на хлор; в рудах, на фоне уменьшения содержания кремнезема, закономерно возрастают содержания других петрогенных окислов –  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . Такие тенденции отражают изменчивость *P-T* характеристик снизу вверх в гидротермальной колонне.

В целом однотипность рудолокализирующих структур, сходство минералообразующих флюидов по основным параметрам, геохимическое сходство руд показывают, что эти месторождения – производные **орогенной рудообразующей системы** и подтверждают правомерность их объединения в рамках единой золото-кварцевой формации. Полученные результаты в целом не противоречат метаморфогенно-гидротермальной модели формирования золото-кварцевых месторождений Яно–Колымского пояса (Ханчук и др., 2011; Voroshin et al., 2014; Волков и др., 2016а).

Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оцен-



ки месторождений золота. Отметим, что рассмотренные в статье рудовмещающие надвиго-взбросо-сдвиговые нарушения развиты и на других подобных золоторудных месторождениях Верхояно-Колымской складчатой области (Пиль, Дразное, Бадран и др.). Структурные исследования на таких месторождениях позволяют на ранних поисковых этапах определять позицию объекта в гидротермальной колонне и на этой основе оценивать его потенциал.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Тюкова Е.Э., Сидоров В.А., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В., Земскова М.А. (2017) Новые данные по геологии и геохимии золото-кварцевого месторождения Родионовское (Северо-Восток России). *Геология рудн. месторождений*, **59**(2), 93-112. DOI: 10.7868/S0016777017020071
- Волков А.В., Сидоров А.А., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В. (2016б) Новые данные по геохимии руд золото-кварцевого месторождения Родионовское (Северо-Восток России). *Тихоокеан. геология*, **35**(4), 77-85.
- Волков А.В., Сидоров В.А., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А. (2009) О полихронности золото-кварцевого месторождения Родионовское (Северо-Восток России). *Докл. АН*, **424**(2), 217-221.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Прокофьев В.Ю., Колова Е.Е., Савчук Ю.С., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В., Земскова М.И., Аристов В.В., Вольфсон А.А. (2016а) Золото-кварцевые месторождения Яно-Колымского складчатого пояса: геохимические особенности руд и флюидов, условия рудообразования. *Вестн. СВНЦ ДВО РАН*, (3), 3-21.
- Ворожбенко Д.В., Григоров С.А., Кушнарев П.И., Кушнарев А.П., Маркевич В.Ю., Токарев В.Н. (2006) Оценка влияния литологических и структурных факторов на распределение золота в рудах Наталкинского золоторудного месторождения. *Руды и металлы*, (3), 49-56.
- Ворошин С.В. (2005) Метаморфогенное золото-кварцевое оруденение Верхне-Колымского региона и анализ закономерностей размещения месторождений методами ГИС. Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Москва: ИГЕМ РАН. 42 с.
- Ворошин С.В., Ньюберри Р.Дж. (2001)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датировки золотого оруденения в Штурмовском рудном узле. *Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий: в 3 т. Материалы XI сессии Северо-Восточного отделения ВМО "Региональная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Ю.А. Билибина". Т. 2. Металлогения*. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 159-162. DOI: 10.31857/S0869-56524854468-473
- Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Викентьева О.В. (2018) Благоприятнометалльная минерализация Адыча-Тарынской металлогенической зоны: геохимия стабильных изотопов, флюидный режим и условия рудообразования. *Геология и геофизика*, **59**(10), 1586-1605. DOI: 10.15372/GiG20181006
- Голубев С.Ю. (2008) Условия локализации рудных тел Наталкинского месторождения золота. *Руды и металлы*, (6), 72-76.
- Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. (2002) Наталкинское месторождение – золоторудный гигант России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 250 с.
- Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Голуб В.В. (2008) Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России). *Геология рудн. месторождений*, **50**(5), 414-444.
- Государственный доклад. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах (2018). (Гл. ред. Е.А. Киселев). М.: ФГБУ ВИМС, 372 с.
- Литвиненко И.С. (2009) Условия нахождения и типоморфизм самородного золота в рудах Дегдеканского месторождения в черносланцевых толщах. *Геология и геофизика*, **50**(6), 691-697.
- Межов С.В. (2000) Геологическое строение Наталкинского золоторудного месторождения. *Колымские ВЕСТИ*, (9), 8-17.
- Михайлов Б.К., Стружков С.Ф., Аристов В.В., Наталенко М.В., Цымбалюк Н.В., Тямисов Н.Э., Узюнкоян А.А. (2007). Потенциал золотоносности Яно-Колымской провинции. *Руды и металлы*, (5), 4-17.
- Михайлов Б.К., Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Цымбалюк Н.В. (2010) Многофакторная модель крупно-объемного золоторудного месторождения Дегдекан (Магаданская область). *Отчет. геология*, (2), 20-31.
- Морозов Ю.А. (2002) Структурообразующая роль транс-прессии и транстенсии. *Геотектоника*, (6), 3-24.
- Паталаха Е.И. (1985) Тектонофациальный анализ. М.: Недра, 120 с.
- Савчук Ю. С., Волков А.В., Аристов В.В., Сидоров В.А., Лямин С.М. (2018) Строение и состав золоторудных залежей месторождения Павлик. *Руды и металлы*, (2), 77-85.
- Стружков С.Ф., Кряжев С.Г., Наталенко М.В., Голубев С.Ю. (2008) Отличия золото-кварцевых и золото-полисульфидно-кварцевых месторождений Центральной Колымы по термобарогеохимическим данным. *Материалы XIII Международной конференции по термобарогеохимии и IV симпозиума APIFIS*. М.: ИГЕМ РАН, ч. 2, 124-127.
- Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Остапенко Л.А., Рыжов О.Б., Быстрова А.К., Политов В.К., Блинова Е.В., Кряжев С.Г. (2004) Составление пакетов геологической информации на перспективные объекты Дегдекан, Токичан, Верхний Ат-Юрях. М.: ЦНИГРИ.
- Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Цымбалюк Н.В. (2009) Уникальные золоторудные регионы Витватерсранд (ЮАР) и Центрально-Колымский (Россия) – сопоставительный анализ. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, (4), 72-81.
- Тюкова Е.Э., Ворошин С.В. (2007) Состав и парагенезисы арсенопирита в месторождениях и вмещающих породах Верхне-Колымского региона (к интерпретации генезиса сульфидных ассоциаций). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 107 с.
- Фирсов Л.В. (1985) Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. Новосибирск: Наука, 216 с.
- Фридовский В.Ю. (2002) Структуры золоторудных полей и месторождений Яно-Колымского рудного по-

- яса (Восточная Якутия – территория Верхояно-Колымской коллизионной области). *Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок*. Т. 1. М.: ГЕОС, 6-241.
- Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Никитенко Е.М., Кузьмина Т.В., Баринов Н.Н. (2011) Распределение благородных металлов в черных сланцах золоторудного месторождения Дегдекан (Северо-Восток России). *Тихоокеан. геология*, **30**(2), 3-11.
- Шахтыров В.Г. (1997) Тенькинский глубинный разлом: тектоническая позиция, инфраструктура, рудоносность. *Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии*. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 62-64.
- Шахтыров В. Г. (2009) Структурные парагенезисы в зоне Тенькинского глубинного разлома (Яно-Колымская складчатая система). *Естеств. и техн. науки*, (6), 313-319.
- Эз В.В. (1978) Структурная геология метаморфических комплексов. М: Недра, 191с.
- Bierlein F.P., Groves D.I., Goldfarb R.J., Dubé B. (2006) Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits. *Miner. Depos.* **40**, 874-886.
- Electronic Internet Source: [www.nedradly.ru](http://www.nedradly.ru)
- Electronic Internet Source: [www.polyus.ru](http://www.polyus.ru)
- Electronic Internet Source: [www.arlan.ru](http://www.arlan.ru)
- Goldfarb R.J., Taylor R.D., Collins G.S., Goryachev N.A., Orlandini O.F. (2014) Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia. *Gondwana Res.*, **25**, 48-102.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Santosh M. (2016) The conjunction of factors that lead to formation of giant gold provinces and deposits in non-arc settings. *Geosci. Front.* **7**, 303-314.
- Riedel W. (1929) Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen. *Zentral-blatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, 354-368.
- Voroshin S.V., Newberry R.J., Laver P.W. (2004) <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of Au-quartz mineralization in the Upper Kolyma Region (Magadan Oblast, Russia). *Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins: Proc. of the Interim IAGOD Conf.*, Vladivostok: Dalnauka, 568-571.
- Voroshin, S.V., Tyukova, E.E., Gibsher N.A. (2006) Metamorphism of Sulfides and Gangue Quartz at the Degdekan and Gol'tsovsky Gold Deposits, Magadan Oblast. *Geol. Ore Deposits*. **48**(3), 215-236.
- Voroshin S.V., Tyukova E.E., Newberry R.J., Laver P.W. (2014) Orogenic gold and rare metal deposits of the Upper Kolyma District, Northeastern Russia: Relation to igneous rocks, timing, and metal assemblages. *Ore Geol. Rev.*, **62**, 1-24.
- es. Moscow, Nedra Publ., 191 p. (In Russ.)
- Firsov L.V. (1985) Gold-quartz formation of the Yano-Kolyma belt. Novosibirsk, Nauka Publ., 216 p. (In Russ.)
- Fridovsky V.Yu. (2002) Structures of gold ore fields and deposits of the Yano-Kolyma ore belt (Eastern Yakutia – the territory of the Verkhoyansk-Kolyma collision area). *Metallogeny of series of collisional geodynamic settings*. Т. 1. Moscow, GEOS Publ., 6-241. (In Russ.)
- Gamyanin G.N., Fridovskii V.Yu., Vikent'eva O.V. (2018) Noble metal mineralization of the Adycha-Taryn metallogenic zone: geochemistry of stable isotopes, fluid regime and conditions of ore formation. *Geol. Geofiz.*, **59**(10), 1586-1605. (In Russ.). DOI: 10.15372/GiG20181006
- Goldfarb R.J., Taylor R.D., Collins G.S., Goryachev N.A., Orlandini O.F. (2014) Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia. *Gondwana Res.*, **25**, 48-102.
- Golubev S.Yu. (2008) Conditions of localization of ore bodies of the Natalka gold deposit. *Rudy i Metally*, (6), 72-76. (In Russ.)
- Goncharov V.I., Voroshin S.V., Sidorov V.A. (2002) The Natalka deposit is a gold ore giant in Russia. Magadan, SVKNII FEB RAS, 250 p. (In Russ.)
- Goryachev N.A., Vikent'eva O.V., Bortnikov N.S., Prokofiev V.Yu., Alpatov V.A., Golub V.V. (2008) World-class Natalka gold ore deposit: REE distribution, fluid inclusions, stable oxygen isotopes and ore formation conditions (North-East of Russia). *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **50**(5), 414-444. (In Russ.)
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Santosh M. (2016) The conjunction of factors that lead to formation of giant gold provinces and deposits in non-arc settings. *Geosci. Front.* **7**, 303-314.
- Khanchuk A.I., Plyusnina L.P., Nikitenko E.M., Kuzmina T.V., Barinov N.N. (2011) Distribution of precious metals in black shales of the Degdekan gold deposit (North-East of Russia). *Tikhookean. Geol.*, **30**(2), 3-11. (In Russ.)
- Litvinenko I.S. (2009) Conditions of occurrence and typomorphism of native gold in the ores of the Degdekan deposit in black shale strata. *Geol. Geoiz.*, **50**(6), 691-697. (In Russ.)
- Mezhov S.V. (2000) Geological structure of the Natalka gold deposit. *Kolymskie VESTI*, **9**, 8-17. (In Russ.)
- Mikhailov B.K., Mikhailov B.K., Struzhkov S.F., Aristov V.V., Natalenko M.V., Tsybalyuk N.V., Tyamysov N.E., Uzyunkoyan A.A. (2007) *Rudy i Metally*, **5**, 4-17. (In Russ.)
- Mikhailov B.K., Struzhkov S.F., Natalenko M.V., Tsybalyuk N.V. (2010) Multivariate model of the Degdekan large-volume gold deposit (Magadan region). *Otech. Geol.*, **2**, 20-31. (In Russ.)
- Morozov Yu.A. (2002) Structural role of transpression and transtension. *Geotektonika*, **6**, 3-24. (In Russ.).
- Patalakha E.I. (1985) Tectonofacial analysis. Moscow, Nedra Publ., 120 p. (In Russ.)
- Riedel W. (1929) Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen. *Zentral-blatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, 354-368.
- Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Aristov V.V., Sidorov V.A., Lyamin S.M. (2018) Structure and composition of gold deposits of the Pavlik deposit. *Rudy i Metally*, **2**, 77-85. (In Russ.)
- Shakhtyrov V.G. (1997) Ten'kinsky deep fault: tectonic position, infrastructure, ore content. Geological structure,

## REFERENCES

- magmatism and minerals of Northeast Asia. Magadan, SVKNII FEB RAS, 62-64. (In Russ.)
- Shakhtyrov V.G. (2009) Structural parageneses in the zone of the Ten'ka deep fault (Yano-Kolyma folded system). *Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki* (6), 313-319. (In Russ.)
- State report. On the state and use of mineral resources of the Russian Federation since 2016 and 2017 (2018). (Ch. ed. E.A. Kiselev) Moscow: FGBU VIMS Publ., 372 p. (In Russ.)
- Struzhkov S.F., Kryazhev S.G., Natalenko M.V., Golubev S.Yu. (2008) Differences between gold-quartz and gold-poly-sulfide-quartz deposits of Central Kolyma according to thermobarogeochemical data. *Proc. of the XIII International Conference on Thermobarogeochemistry and IV APIFIS Symposium*. Moscow, IGM RAS, 2, 124-127. (In Russ.)
- Struzhkov S.F., Natalenko M.V., Ostapenko L.A., Ryzhov O.B., Bystrova A.K., Politov V.K., Blinova E.V., Kryazhev S.G. (2004) Compilation of packages of geological information for the promising objects Degdekan, Tokichan, Upper At-Yuryakh. Moscow, TsNIGRI. (In Russ., unpublished)
- Struzhkov S.F., Natalenko M.V., Tsymbalyuk N.V. (2009) Unique gold ore regions Witwatersrand (South Africa) and Central Kolymsky (Russia) – comparative analysis. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i Upravlenie*, (4), 72-81. (In Russ.)
- Tyukova E.E., Voroshin S.V. (2007) Composition and parageneses of arsenopyrite in deposits and host rocks of the Upper Kolyma region (on the interpretation of the genesis of sulfide associations). Magadan, SVKNII FEB RAS, 107 p. (In Russ.)
- Volkov A.V., Prokof'ev V.Yu., Tyukova E.E., Sidorov V.A., Murashov K.Yu., Sidorova N.V., Zemskova M.A. (2017) New data on geology and geochemistry of the Rodionovskoye gold-quartz deposit (North-East of Russia). *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **59**(2), 93-112. (In Russ.)
- Volkov A.V., Sidorov A.A., Murashov K.Yu., Sidorova N.V. (2016b) New data on the geochemistry of ores of the Rodionovskoye gold-quartz deposit (North-East of Russia). *Tikhookean. Geol.*, 35 (4), 77-85. (In Russ.)
- Volkov A.V., Sidorov V.A., Prokof'ev V.Yu., Sidorov A.A. (2009) On the polychronism of the Rodionovskoye gold-quartz deposit (North-East of Russia). *Dokl. Akad. Nauk.* **424**(2), 217-221. (In Russ.)
- Volkov A.V., Sidorov A.A., Savva N.E., Prokof'ev V.Yu., Kolova E.E., Savchuk Yu.S., Murashov K.Yu., Sidorova N.V., Zemskova M.A., Aristov V.V., Wolfson A.A. (2016a) Gold-quartz deposits of the Yano-Kolyma fold belt: geochemical features of ores and fluids, conditions of ore formation. *Vestn. SVNTs FEB RAS*, 3, 3-21. (In Russ.)
- Voroshin S.V. (2005) Metamorphogenic gold-quartz mineralization of the Upper Kolyma region and analysis of regularities in the distribution of deposits using well logging methods. Diss. Doct. of geol. and min. sci. diss. Moscow, IGM RAS. 42 p. (In Russ.)
- Voroshin S.V., Newberry R.J. (2001)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of gold mineralization in the Shturmovskiy ore cluster. *Problems of geology and metallogeny of Northeast Asia at the turn of the millennium. In 3 vol. Proc. of the XI session of the North-Eastern branch of WMO "Regional scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Yu.A. Bilibin"*, 2001). V. 2. Metallogeny. Magadan, SVKNII FEB RAS, 159-162. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0869-56524854468-473
- Voroshin S.V., Newberry R.J., Laver P.W. (2004)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of Au-quartz mineralization in the Upper Kolyma Region (Magadan Oblast, Russia). *Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins: Proc. of the Interim IAGOD Conf.* Vladivostok: Dalnauka Publ., 568-571.
- Voroshin S.V., Tyukova E.E., Gibsher N.A. (2006) Metamorphism of Sulfides and Gangue Quartz at the Degdekan and Gol'tsovsky Gold Deposits, Magadan Oblast. *Geol. Ore Deposits*. **48**(3), 215-236.
- Voroshin S.V., Tyukova E.E., Newberry R.J., Laver P.W. (2014) Orogenic gold and rare metal deposits of the Upper Kolyma District, Northeastern Russia: Relation to igneous rocks, timing, and metal assemblages. *Ore Geol. Rev.*, **62**, 1-24.
- Vorozhenko D.V., Grigorov S.A., Kushnarev P.I., Kushnarev A.P., Markevich V.Yu., Tokarev V.N. (2006) Assessment of the influence of lithological and structural factors on the distribution of gold in the ores of the Naltka gold deposit. *Rudy i Metally*, (3), 49-56. (In Russ.)