

## Крупные и суперкрупные орогенные золотые месторождения: геодинамика, структура, генетические следствия

Ю. С. Савчук, А. В. Волков

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), 119017, Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: yurasavchuk@yandex.ru*

Поступила в редакцию 19.12.2018 г., принята к печати 01.02.2019 г.

**Объект исследования.** Крупные и суперкрупные орогенные месторождения золота широко распространены на всех континентах. В работе охарактеризованы 24 гигантских объекта с запасами и ресурсами более 500 т металла. **Материалы и методы.** В основу работы легли собственные наблюдения авторов в пределах крупных и суперкрупных месторождений Средней Азии и Северо-Востока российской Арктики, а также изучение грандиозного объема литературы, посвященной крупнейшим золотым месторождениям мира. **Результаты.** Структурный анализ показывает, что история формирования этих месторождений включает две основные стадии. Ранняя – субдукционная – стадия характеризуется развитием пологих нарушений – надвигов, шарьяжей, вязких разрывов, зон смятия, а структурный парагенезис включает изоклиналильные лежачие складки, кливаж осевой поверхности. Вторая – коллизивно-транспрессионная стадия – начинается с деформации ранее образованного шарьяжного сооружения в открытые и сжатые складки с крутыми осевыми поверхностями, где в результате дальнейшего сжатия развивается серия продольных разрывных нарушений. Косое столкновение взаимодействующих плит приводит к развитию сдвигового транспрессионного структурного парагенезиса, в котором преобладают секущие трещины. Установлено, что структуры разных стадий являются рудоконтролирующими и рудовмещающими на орогенных месторождениях золота. Привязка рудовмещающих нарушений к различным стадиям позволяет выделять месторождения разных типов, которые отличаются структурно-морфологическими особенностями. Рассмотрены основные характеристики выделенных типов месторождений. Образование этих месторождений происходило во время конвергентных процессов и рудоконтролирующие структуры являются поверхностным отражением перемещения блоков-террейнов по поверхности детачмента. **Выводы.** Сделан вывод, что поверхность детачмента представляет собой не только тектоническую зону, но и канал, осуществляющий связь между различными глубинными уровнями зоны субдукции, откуда поступают рудоносные гидротермы.

**Ключевые слова:** орогенные месторождения, золото, зеленокаменные пояса, складчатые пояса, геодинамика, структура, субдукция, коллизия, транспрессия

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке темы Госзадания ИГЕМ РАН “Металлогения рудных районов вулканоплутоногенных и складчатых орогенных поясов Северо-Востока России” и программы Президиума РАН № 48 “Месторождения стратегических и высокотехнологических металлов Российской Федерации: закономерности размещения, условия формирования, инновационные технологии прогноза и освоения”.

## Large and super-large orogenic golden deposits: Geodynamics, structure, genetic consequences

Yurii S. Savchuk, Aleksandr V. Volkov

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), 35 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russia*

Received 19.12.2018, accepted 01.02.2019

**Research subject.** Large and super-large orogenic gold deposits are widely distributed across all continents. This work was aimed at characterizing 24 giant facilities with reserves and resources of more than 500 tons of metal. **Materials and methods.** The work was based on the authors' long-term fieldwork research into large and super-large gold deposits in Central Asia and the North-East of the Russian Arctic. In addition, an extensive bibliographic analysis of publications devoted to

**Для цитирования:** Савчук Ю.С., Волков А.В. (2019) Крупные и суперкрупные орогенные золотые месторождения: геодинамика, структура, генетические следствия. *Литосфера*, 19(6), 813-833. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-6-813-833

**For citation:** Savchuk Yu.S., Volkov A.V. (2019) Large and super-large orogenic golden deposits: Geodynamics, structure, genetic consequences. *Litosfera*, 19(6), 813-833. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-6-813-833

the largest gold deposits in the world was carried out. *Results.* A structural analysis showed that the formation of these deposits underwent two main stages. The early – subduction stage – was characterized by the development of gentle disturbances, such as thrusts, thrust nappies, viscous discontinuities and crushing zones, while the structural paragenesis included isocline lying folds and cleavage of the axial surface. The second stage – collision-transpression – began with the deformation of the previously formed structure into open and compressed folds with steep axial surfaces; as a result of further compression, a series of longitudinal discontinuous disturbances developed. An oblique collision of interacting plates lead to the development of shear transpression structural paragenesis, in which oblique cracks predominate. It is established that, in orogenic gold deposits, different stages were characterized by ore-controlling and ore-bearing structures. The binding of ore-bearing disturbances to different stages enabled isolation of deposits of various types that differ in structural and morphological features. The main characteristics of the identified types of deposits are provided. The formation of these deposits occurred during convergent processes, with the ore-controlling structures being a surface manifestation of the movement of block terrains along the surface of the detachment. *Results.* It is concluded that the surface of the detachment is not only a tectonic zone, but also a channel that provides a link between various deep levels of the subduction zone, from where ore-bearing hydrothermal fluids emerge.

**Keywords:** *Orogenic deposits, gold, green-stone belts, folded belts, geodynamics, structure, subduction, collision, transpression*

#### Acknowledgements

*The work was financially supported by the State Project of IGEM RAS “Metallogeny of ore regions of volcanic-plutonic and folded orogenic belts of the North-East of Russia” and the program of the Presidium of RAS No. 48 “Deposits of strategic and high-tech metals of the Russian Federation: location patterns, formation conditions, innovative forecasting and development technologies”.*

## ВВЕДЕНИЕ

Орогенные месторождения золота (Groves et al., 1998) привлекают внимание исследователей всего мира, так как среди них в значительном количестве встречаются крупные и суперкрупные объекты. Месторождений с запасами и ресурсами более 500 т насчитывается 24, а содержащих более 1000 т золота – 7 (табл. 1, рис. 1): Мурунтау, Ашанти, Калгурли, Телфер, Хоумстейк, Сухой Лог, Наталка. Гигантские орогенные месторождения располагаются рядом с сутурными зонами или системами сдвигов, которые представляют собой швы между тектоническими террейнами и локализируются в пределах осложнений вдоль них в структурах второго порядка (Groves et al., 2016). Прямая генетическая связь между образованием этих месторождений и гранитоидным магматизмом отсутствует, но отмечаются пространственные взаимоотношения с лампрофировыми дайками. Возрастной диапазон золотой минерализации охватывает время от неогархея до мезозой-третичного периода.

В статье обсуждаются геодинамические обстановки и условия формирования наиболее изученных (в том числе и авторами) крупных и суперкрупных орогенных месторождений золота. Различия в геолого-структурных особенностях этих месторождений позволили авторам выделить однотипные обстановки их формирования, а также рассмотреть тенденции изменения последних в геологическом времени. На основе выполненных исследований предложены новые прогнозно-поисковые критерии для этой группы месторождений.

## ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ

Среди орогенных месторождений выделяются (см. табл. 1, рис. 1) расположенные в древних архей-протерозойских зеленокаменных поясах (ЗП) и приуроченные к складчатым поясам (СП), разделяющим разномасштабные континентальные массивы.

Не вдаваясь в детали строения ЗП, отметим их наиболее важные признаки. Так, Г.Я. Абрамович (2009), вслед за В.Е. Хаином и М.Г. Ломизе (2005), при определении ЗП отмечает, что их внутренняя структура характеризуется интенсивной складчатостью и сериями надвигов, что приводит к неоднократному тектоническому повторению отдельных частей разреза. При этом предполагается аналогия ЗП с корой задуговых бассейнов, а появление в позднем архее известково-щелочных вулканитов и гранитов свидетельствует о субдукции этой субокеанской коры под протоконтинентальную, т.е. по существу о начале плитотектонического этапа в развитии Земли. В.Н. Кожевников (2000) интерпретирует архейские ЗП Карельского кратона как аккреционные орогены, а А.Б. Вревский (2011) указывает, что при изучении архейских ЗП необходима “документация пологих надвигов и “шеер” зон и их кинематический анализ для доказательства тектонического совмещения пространственно разобщенных в “плитной” геодинамике вулканогенно-осадочных комплексов”. Такой подход, вне зависимости от возраста пояса, позволяет использовать субдукционно-коллизийную модель развития при рассмотрении ЗП и для более поздних фанерозойских СП.

Анализ геодинамики становления СП позволяет идентифицировать их как аккреционные призмы, возникшие в результате субдукционно-

**Таблица 1.** Запасы и ресурсы гигантских орогенных месторождений золота, по (Bierlein et al., 2006; Государственный доклад..., 2018)

**Table 1.** Reserves and resources of the giant orogenic gold deposits of the world, according to (Bierlein et al., 2006; Gosudarstvennyi doklad..., 2018)

№ п.п.	Месторождение	Позиция	Возраст, млрд лет	Запасы и ресурсы золота, т
<i>Архей</i>				
1	Калгурли	Кратон Йилгарн	2.6–2.64	1984
2	Макинтайр-Холлинжер	Канадский щит	<2.67	987
3	Кэмпбелл-Ред Лейк	То же	<2.87...>2.71	799
4	Киркленд Лейк	—”—	<2.67	797
5	Гейта	Кратон Танзанийский	<2.64	788
6	Бульяххулу	То же	<2.64...>2.55	543
7	Доум	Канадский щит	<2.68	509
<i>Протерозой</i>				
8	Ашанти. Обуаси	Кратон Западно-Африканский	2.1	2070
9	Телфер	Ороген Патерсон	0.7–0.6	1564
10	Хоумстейк	Ороген Транс-Гудзон	1.75	1237
11	Лас-Кристинас	Амазонский кратон	2.14–2.06	964
12	Олимпиада	Сибирский кратон	0.921–0.915	958*
13	Кибали	Центрально-Африканский кратон	<2.5	945
14	Колар	Кратон Дхарвар	2.446	838
15	Морро-Вельо	Кратон Сан-Франциско	<0.8	654
<i>Фанерозой</i>				
16	Мурунтау	Тянь-Шанский ороген	>0.35–0.285	5290
17	Сухой Лог	Сибирский кратон	0.38–0.365	1943*
18	Наталка	Верхояно-Колымский ороген	0.135	1510*
19	Донлин-Крик	Аляска	0.074–0.068	793
20	Грасс Вэлли	Калифорния	0.145–0.14	664
21	Бендиго	Ороген Лачлан	0.44	660
22	Нежданинское	Ороген Южно-Верхоянский	0.120	632*
23	Кумтор	Тянь-Шанский ороген	0.285	600
24	Линглонг Кэмп	Яньшанский ороген	0.123	500
	Итого			28 229

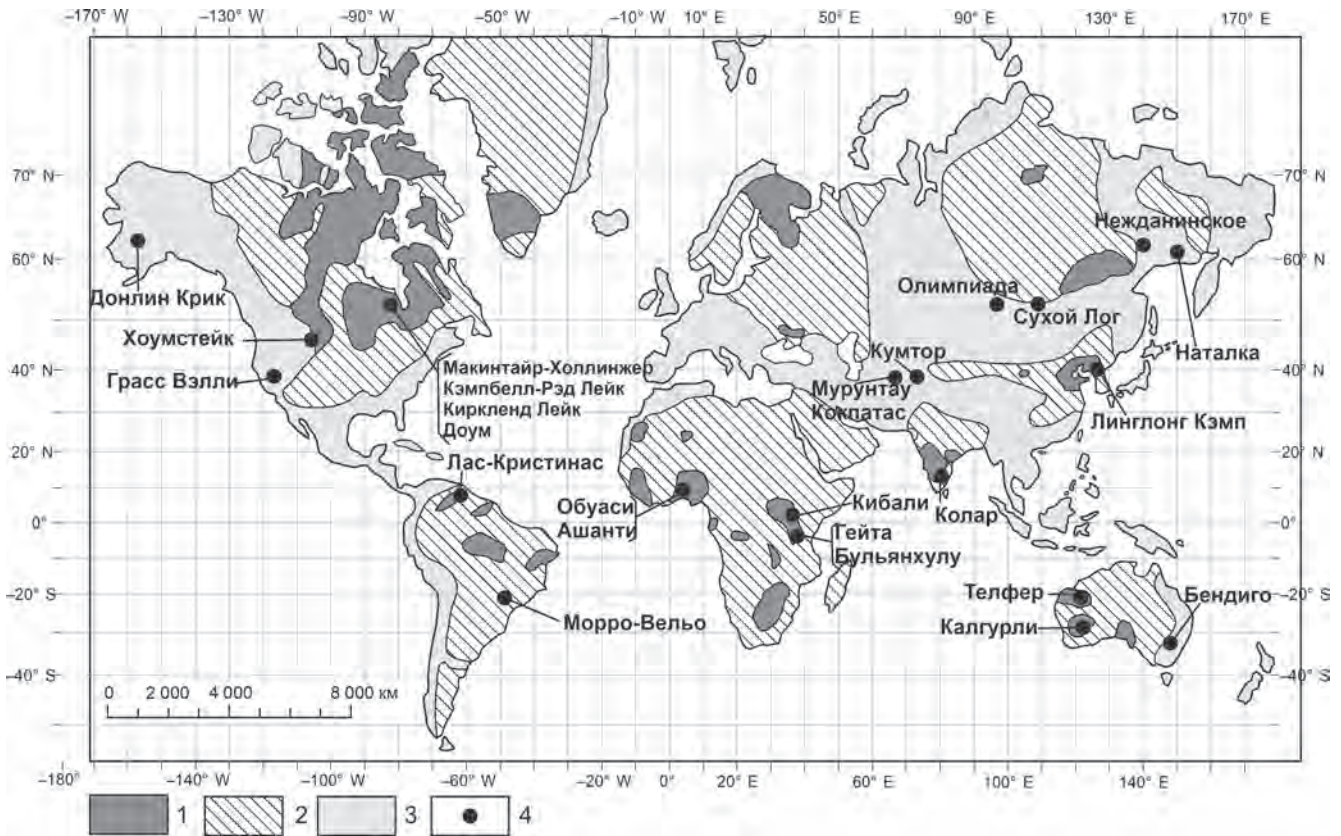
\*Данные из (Государственный доклад..., 2018).

\*Data from (Gosudarstvennyi doklad..., 2018).

коллизии процессом, при закрытии малых океанических бассейнов – окраинных, задуговых морей. Процесс этот длительный: вначале происходит поглощение океанической коры с аккрецией офиолитовых чешуй, а затем к глубоководному желобу подходит континентальная часть субдуцирующей плиты. В таком месте пассивная континентальная окраина затягивается под вишее крыло (Хаин, Ломизе, 2005) и происходит “сдирание” верхнего осадочного слоя, сложенного преимущественно углеродистыми терригенными окраинно-континентальными отложениями. Образуется основное тело аккреционной призмы. Впоследствии при невозможности дальнейшего подвига во время коллизии образования, входящие в аккреционную призму, деформируются в открытые складки и возникает серия крутопадающих коллизии разрывных нарушений.

Таким образом, аккреционные призмы (ЗП и СП) в процессе своего формирования проходят

разные стадии со сменой тектонических режимов. В ранней, *субдукционной*, стадии вначале происходит шарьирование сравнительно маломощных офиолитовых и островодужных аллохтонов и затем в процесс вовлекаются мощные чешуи, сложенные окраинно-континентальными и шельфовыми образованиями. Общим является присутствие зон региональных шарьяжей, разделяющих пластины и чешуи с отложениями разных (порой значительно удаленных друг от друга) геодинамических обстановок. Мощности этих тектонических зон сильно варьируют и доходят до сотен метров и более. Контактные части пластин обычно превращены в меланж, содержащий разновеликие блоки в различной степени переработанных пород. Часто следы этих деформаций проникают в тело аллохтонной пластины в виде вязких разрывов, зон расланцевания и смятия, здесь фиксируются сильно сжатые складки, широко развит кливаж осевой поверхности (Эз, 1978; Паталаха, 1985). Порой в породах



**Рис. 1.** Возраст пород фундамента и распределение гигантских орогенных месторождений, по (Bierlein et al., 2006) с изменениями.

1 – архей, 2 – протерозой, 3 – фанерозой, 4 – орогенные месторождения золота.

**Fig. 1.** The age of basement rocks and the distribution of giant orogenic deposits, by (Bierlein et al., 2006) with changes.

1 – Archean, 2 – Proterozoic, 3 – Phanerozoic, 4 – giant orogenic gold deposits.

фиксируются два этапа динамотермального метаморфизма, сопровождаемые как структурными, так и вещественными новообразованиями.

В следующую, коллизионную, а чаще *коллизивно-транспрессионную* стадию аллохтонные комплексы, совместно с разделяющими их шарьяжами, осложняются наложенными открытыми складками, что сопровождается внедрением гранитоидных массивов. Также проявляются региональные сдвиговые зоны большой протяженности, обычно конформные границам плит и реже поперечные, выраженные сериями разломов, напряженной складчатостью, дайковыми поясами. Структурный парагенезис этой стадии определяется наличием сдвиговой компоненты (Морозов, 2002) за счет косо-го взаимодействия сталкивающихся плит. Здесь, кроме магистральных разломов, присутствуют оперяющие сколовые трещины двух направлений, трещины отрыва и чешуйчатые взбросо-надвиги, контролирующие размещение золотой минерализации.

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Как видно из изложенного, внутренняя структура аккреционных призм (а в нашем случае ЗП и СП) образована парагенезисами, возникшими на субдукционной и коллизионно-транспрессионной стадиях развития (табл. 2). Анализ этих парагенезисов с особым вниманием к элементам, контролирующим размещение золотого оруденения, позволяет выделить (Савчук, Мухин, 1993) соответственно два основных типа месторождений, а также объекты, где наблюдается совмещение рудных тел в структурах разных стадий. Основание для выделения этих типов – специфичность рудоконтроля, главную роль в котором принимают либо динамометаморфические шарьяжно-кливажные структуры субдукционной стадии, либо хрупкие разломно-трещинные зоны последующей коллизионно-транспрессионной стадии. Необходимость такого разделения определяется дифференцирован-

**Таблица 2.** Основные этапы деформаций на орогенных золотых месторождениях в ЗП и СП

**Table 2.** The main stages of deformations at orogenic gold deposits in the Greenstone and Folded Belts

№ п.п.	Индекс этапа	Характеристика этапа деформации	Структурный парагенезис	Вещественное и минеральное сопровождение
<i>Субдукционная стадия</i>				
1	D <sub>1</sub>	Ранний этап шарьирования (проявлен не всегда)	Сланцеватость	Метаполосчатость, субсогласные кварцевые прожилки
2	D <sub>2</sub>	Главный этап шарьирования	Шарьяжи между пластинами, вязкие разрывы, стреловидные, изоклиальные складки, кливаж, муллион структуры, линейность	Золото-сульфидная прожилково-вкрапленная минерализация или прожилково-жилльная золото-кварцевая, золото-сульфидно-кварцевая минерализация в шарьяжах, вязких разрывах, по кливажу
<i>Коллизионно-транспрессионная стадия</i>				
3	D <sub>3</sub>	Образование наложенных складок	Вблизи сугуры сильно сжатые и наклонные складки, кливаж в сжатых складках, на удалении открытые складки, будинаж, трещины отрыва в ядерной части открытых складок	Внедрение гранитоидов, кварцевые прожилки в трещинах
4	D <sub>4</sub>	Заложение системы продольных и реже поперечных региональных сдвиго-взбросов	Сдвиговые зоны, системы трещин син- и антитетических сколов, чешуйчатые надвиги, трещины отрыва, складчатые подгибы вблизи сдвигов	Внедрение даек пестрого состава, кварцевые жилы, прожилки
5	D <sub>5</sub>	Смена знака перемещения вдоль региональных сдвиго-взбросов	Приоткрытие трещин предыдущего этапа	Прожилково-вкрапленная или прожилково-жилльная золото-сульфидно-кварцевая минерализация

Примечание. Пострудная тектоника здесь не рассматривается. В зависимости от времени проявления деформаций рядом с индексом этапа в виде верхнего индекса ставится буква: а – архейский, п – протерозойский, ф – фанерозойский. Ниже, при описаниях месторождений различных типов, приводится возрастная индексация этапов деформаций, например D<sub>2</sub><sup>п</sup>.

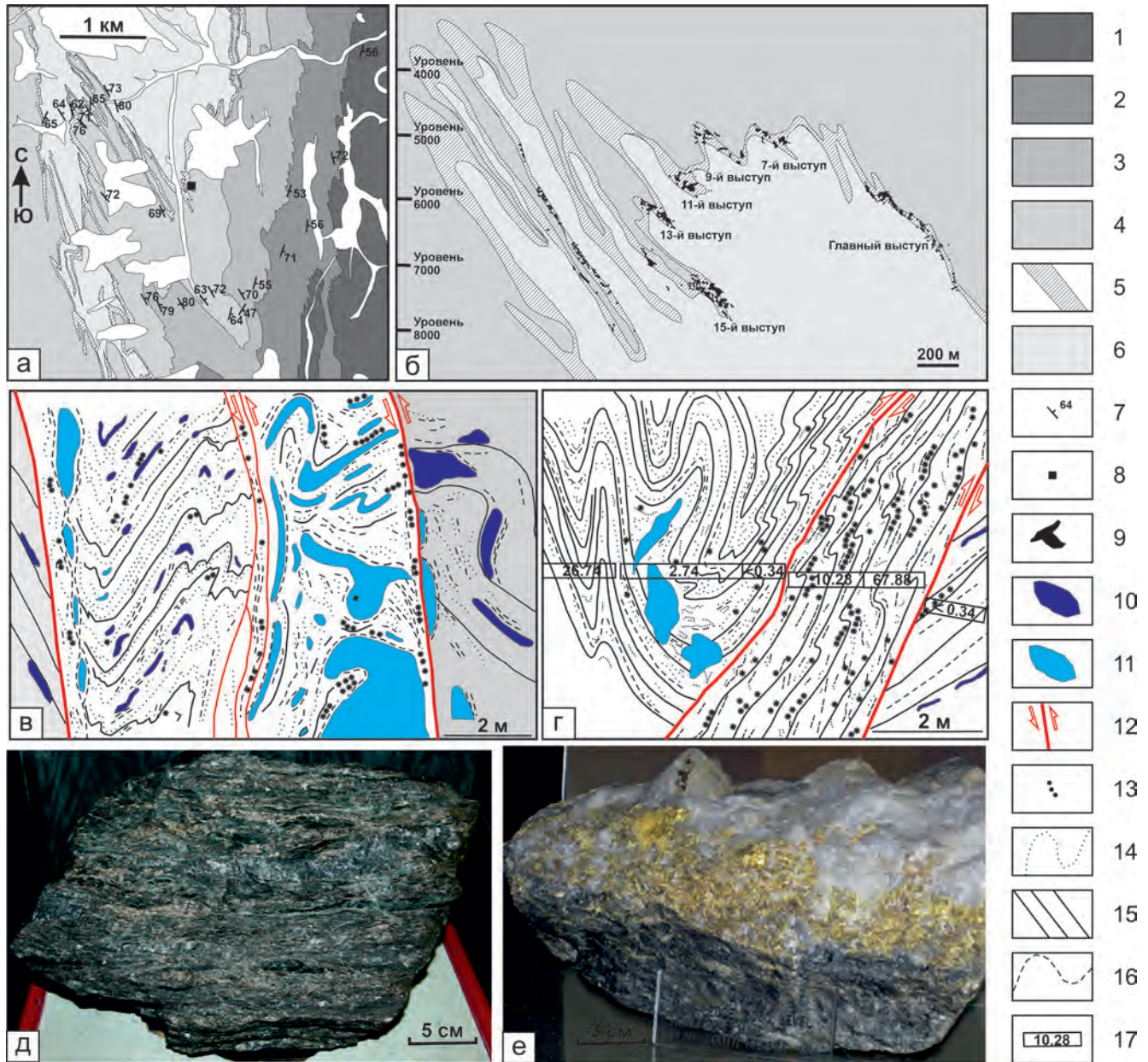
Note. Post-ore tectonics is not considered here. Depending on the time of the manifestation of deformations, a sign is placed near the index of the stage: a – Archean, p – Proterozoic, f – Phanerozoic. Below, when describing deposits of various types, the age indexation of deformation stages is given, for example, D<sub>2</sub><sup>p</sup>.

ным подходом к металлогеническим построениям и поисково-разведочному процессу. Ниже рассмотрены основные особенности строения выделенных типов месторождений.

### 1. Субдукционный тип в ЗП (этап D<sub>2</sub>)

Наиболее яркий представитель субдукционного типа – месторождение **Хоумстейк** (Homestake) в США (Южная Дакота), расположенное на продолжении канадской золоторудной провинции Абитибби – архейского ЗП, погружающегося под протерозойские сланцевые отложения. В рудовмещающей формации (2.5 млрд лет) мощностью 30–120 м выделяются руды типа Хоумстейк (рис. 2), представляющие собой хлоритизированные участки куммингтоновых и сидероплезитовых сланцев, пронизанные жилами и неправильными телами кварца и содержащие обильную вкрапленность сульфидов с самородным золотом (Noble, 1950; Laznicka, 2006).

Главное рудное тело объединяет группу рудных столбов, вытянутых параллельно погружению шарниров складок. Выделяются минеральные ассоциации: 1) кварц-арсенопирит-хлоритовая, 2) кварц-пирротин-анкеритовая, 3) пирротиновая. Золото рассеяно в кристаллах арсенопирита, а также в небольшом количестве – в хлорите и пирротине. Строение рудных тел и описание формации Хоумстейк, имеющей тектонические границы с выше- и нижележащими образованиями (в том числе с выпадением отдельных частей разреза), позволяют высказать предположение о том, что она является тектонической зоной, содержащей складчатые обрывки слоев, кварцевые будины и вкрапленность сульфидов. Этот уровень можно интерпретировать как шарьяжную зону (этап D<sub>2</sub><sup>п</sup>), сопровождаемую мощными вязкими разломами по (Паталаха, 1985), разграничивающую разные формации и впоследствии, в коллизионную стадию, смятую в изоклиальные складки (этап D<sub>3</sub><sup>п</sup>).



**Рис. 2.** Схема геологического строения (а), разрез (б) рудного поля Хоумстейк, по (Morelli et al., 2010), сечения рудных тел (в, г) в формации Хоумстейк на горизонте 5300 м, по (Caddey et al., 1991), и образцы (д, е) типичной руды (фото J.St. John; South Dakota School of Mines and Technology Museum of Geology, USA).

1–6 – формации палеопротерозоя: 1 – Гриззли, 2 – Флегрок, 3 – Нордвестерн, 4 – Эллисон, 5 – Хоумстейк, 6 – Пурман; 7 – элементы залегания пород; 8 – рудник Хоумстейк; 9 – рудные тела (на разрезе); 10–17 – на сечениях: 10 – кварцевые жилы и прожилки ранней стадии, 11 – кварцевые жилы и прожилки 2-й стадии, 12 – границы сдвиговой зоны и направление перемещения блоков, 13 – вкрапленность арсенопирита, 14 – пирротин, 15 – слоистость, 16 – биотитизация и хлоритизация, 17 – содержание золота в г/т. На фото: д – золотоносный сульфидсодержащий хлоритовый сланец; е – золото в кварцевом прожилке на контакте со сланцем (Главный выступ, уровень 3050, рудник Хоумстейк).

**Fig. 2.** Geological structure (a), section (б) of the Homestake ore field, by (Morelli et al., 2010), ore body sections (в, г) in the Homestay formation on the horizon of 5300 m (Caddey et al., 1991) and samples (д, е) of typical ore (photo by J.St. John; South Dakota School of Technology, Rapid City, South Dakota, USA).

1–6 – Paleoproterozoic formations: 1 – Grizzly, 2 – Flagrook, 3 – Northwestern, 4 – Ellison, 5 – Homestake, 6 – Poorman; 7 – elements of occurrence of rocks; 8 – Homestake mine; 9 – ore bodies (in the section); 10–17 – on sections: 10 – quartz veins and veinlets of the early stage, 11 – quartz veins and streaks of 2-nd stage, 12 – the boundaries of the shear zone, 13 – dissemination of arsenopyrite, 14 – pyrrhotite, 15 – bedding, 16 – biotitization and chloritization, 17 – content of Au, ppm. In the photo: д – gold-bearing sulphide-containing chlorite shale, е – gold in a quartz vein on contact with shale (Main ledge, level 3050, Homestake mine).

Другое месторождение этого типа – **Кибали** (Kibali) в ЗП Мото Центральноафриканского кратона – расположено на северо-востоке Демократической Республики Конго (Harbidge, 2013). Выявлено в архейско-верхнепротерозойских доломитах и туфах кислого состава, слагающих синклиналь (этап  $D_3^n$ ). Разведана серия “согласных” пластовых залежей в интенсивно тектонизированных (этап  $D_2^n$ ) горизонтах, сложенных прожилковыми сульфидно-кварцевыми и вкрапленными сульфидными рудами. Сульфиды (3–5%) представлены пиритом, также присутствуют пирротин, арсенопирит, халькопирит, сфалерит и галенит. Золото преимущественно мелкое (до 0.1–0.2 мм), свободное и образующее включения в сульфидах.

## 2. Субдукционно-коллизийный тип в ЗП (этапы $D_2$ и $D_{4.5}$ )

Ряд объектов имеет признаки совмещения оруденения, образованного во время субдукционной стадии (этап  $D_2$ ), но также и более позднего отложения рудной минерализации в структурах последующих коллизийно-транспрессионных этапов (этапы  $D_{4.5}$ ). Порой достаточно трудно провести баланс руд разного типа, поэтому такие объекты выделены отдельно и ниже приведены их основные характеристики.

На месторождении **Колар** (Kolar) в Индии рудовмещающая толща сложена неоархейскими гнейсами, железистыми кварцитами, графитизированными и массивными амфиболитами (Krogstad et al., 1989). Породы слагают крыло сильно сжатой синклинали (этап  $D_3^n$ ), представляющей собой узкий (4.5–6.5 км) ЗП, протягивающийся в субмеридиональном направлении на 80 км (рис. 3) в архейском кратоне Дарвар (Siva Siddaiah, Rajamani, 1989). Несколько золоторудных залежей локализованы в послонных срывах (этап  $D_2^n$ ), проявившихся в амфиболовых сланцах и сопровождающихся складками волочения амплитудой 20–30 м. Залежи косо пересекаются разломами север-северо-западного простирания (этап  $D_{4.5}^n$ ). Наиболее крупной является согласная со сланцеватостью залежь Чемпион Риф (см. рис. 3), представляющая собой зону выдержанного оруденения, прослеженную до глубины 3.2 км. Отдельные жилы и жильные зоны протягиваются с перерывами на 20 км при мощности 1–8 м. На верхних горизонтах преобладают линзы, простые и сложные складчатые (седловидные) жилы, а с глубиной наблюдается упрощение морфологии и внутренней структуры рудной зоны: преобладают простые, выдержанные по простиранию и мощности жилы. Рудные тела относятся к золото-кварцевому малосульфидному типу (Сафонов и др., 1988). Установлены две разновидности руд: золото-сульфидно-кварцевая с количеством сульфидов до 10% и средним содержанием золота

4–6 г/т; золото-кварцевая с сульфидами до 1% и содержанием золота 10–15 г/т. Наиболее широко распространены пирротин и арсенопирит, встречаются пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, шеелит. Золото находится в сростании с теллуридами (калаверит, гессит, алтаит).

По ряду признаков месторождение Колар отнесено к типу преобладания субдукционного (рудные тела по вязким разрывам этапа  $D_2^n$ , сохранившиеся в замках и утоненные или растянутые в крыльях) и, возможно, части коллизийного (этапы  $D_{4.5}^n$ ) оруденения. О присутствии последнего может свидетельствовать преобладание кварцево-жильных тел на отдельных участках.

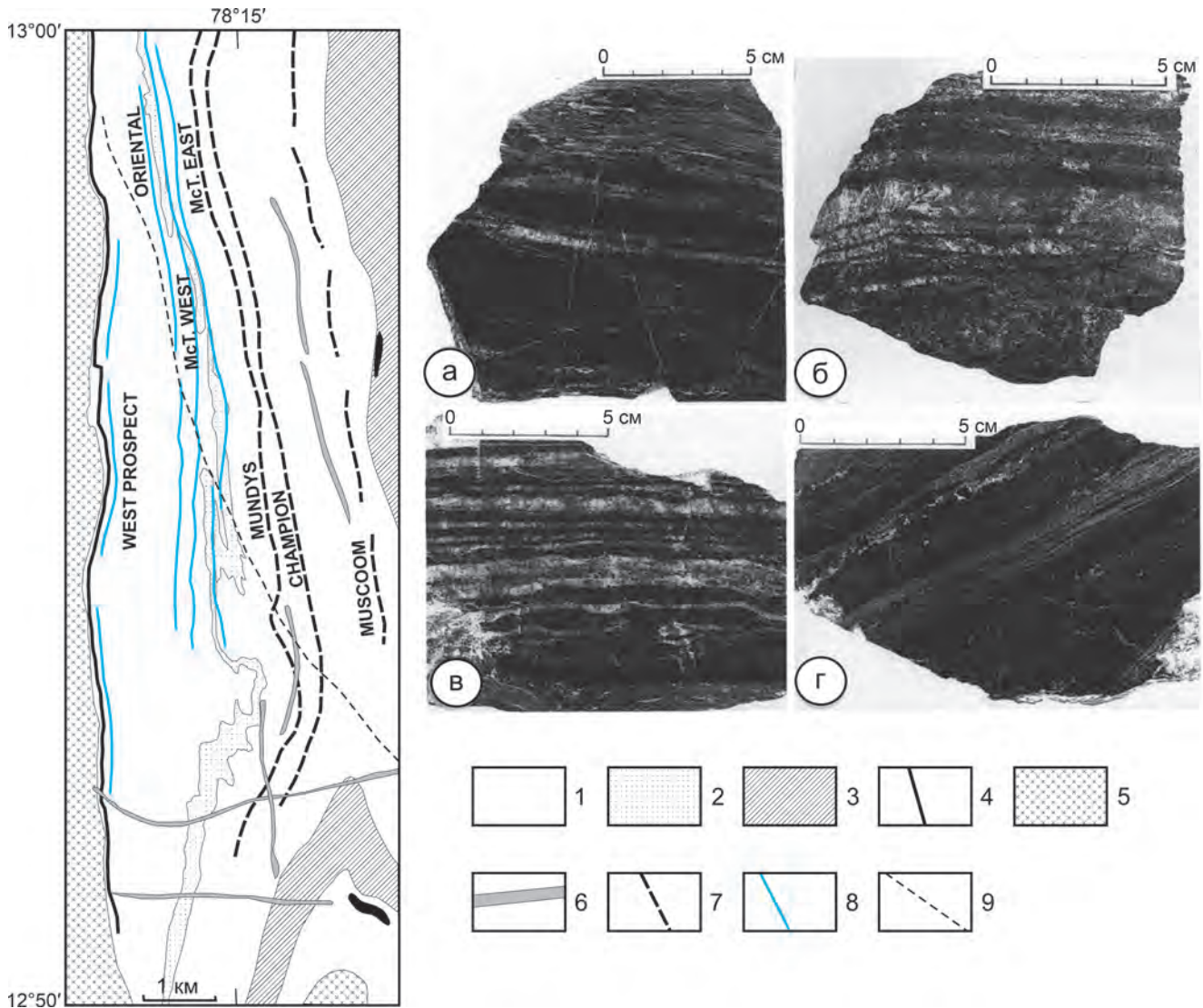
Другое месторождение, где проявлены разные типы оруденения, – **Бульяххулу** (Bulyanhulu) в Танзании, размещается в зеленокаменном поясе Сукумаленд (Kenyon, 1998). Здесь проявлены признаки совмещения раннего (межформационные нарушения – вязкие разломы этапа  $D_2^a$ , контролируемые экранированные руды) и коллизийного (прибортовые разломы – этапы  $D_{4.5}^a$ ) оруденений.

## 3. Коллизийно-транспрессионный тип в ЗП (этапы $D_{4.5}$ )

Коллизийно-транспрессионный тип золотых месторождений в ЗП развит широко: в Южной и Северной Америке, Африке и Австралии и контролируется крупными разрывными нарушениями этапов  $D_{4.5}$ .

Серия крупных месторождений Макинтайр-Холлинжер (McIntyre-Hollinger), Доум (Dome) и ряд других расположены в рудном поле Поркьюпайн ЗП Абитибии (Канада). Месторождения локализованы (рис. 4) в андезит-коматиит-базальтовой формации ( $AR_2$ ). Породы смяты в антиклинальную складку (этап  $D_3^a$ ), рассеченную рядом продольных и кососекущих зон расщепления (этап  $D_{4.5}^a$ ) и гидротермально измененных пород (Robert, Poulsen, 1997). Эти зоны, плавно изгибаясь и соединяясь между собой, замыкают линзообразные блоки метавулканитов, в которых сформировалась система жильных залежей и прожилковых зон золотопирит-турмалин-кварцевых руд (Константинов и др., 2000). На всем протяжении от зон расщепления периодически отделяются серии золоторудных тел северо-восточного и широтного, изредка субмеридионального простирания.

Рудные тела трех типов. Первый, преобладающий на нижних горизонтах, представлен прожилково-жильными зонами сульфидно-кварцевого и сульфидно-анкерит-кварцевого состава. На верхних горизонтах развиты рудные тела второго типа – метасоматические залежи вкрапленных руд. Третий тип рудных тел – массивные кварцевые жилы в штоках порфиоров. Рудные тела сложены кварцем, турмалином, анкеритом и суль-



**Рис. 3.** Геологическая карта центральной части ЗП Колар и золото-сульфидные руды (Siva Siddaiah, Rajamani, 1989).

1 – метавулканыты основного состава, 2 – массивные амфиболиты, 3 – гнейсы “Чемпион”, 4 – железистые кварциты, 5 – гранито-гнейсы, 6 – дайки, 7 – золото-сульфидные залежи, 8 – золото-кварцевые жилы, 9 – разломы. На фото: а – слои сульфидов и кварца, залежь West Prospect; б – слои кварца и амфибола, залежь Oriental; в – структуры-будинаж в рудных слоях, залежь Oriental; г – слои магнетита и пирротина, залежь McTaggart West.

**Fig. 3.** Geological map of the central part of Kolar Greenstone Belts and typical gold-sulphide ores (Siva Siddaiah, Rajamani, 1989).

1 – basic metavolcanics, 2 – massive amphibolites, 3 – “Champion” gneisses; 4 – ferruginous quartzites, 5 – granite-gneiss, 6 – dikes, 7 – gold-sulphide deposits, 8 – gold-quartz veins, 9 – faults. In the photo: a – layers of sulphides and quartz, West Prospect deposit; б – layers of quartz and amphibole, Oriental deposit; в – boudinage structures in the ore layers, Oriental deposit; г – layers of magnetite and pyrrhotite, McTaggart West deposit.

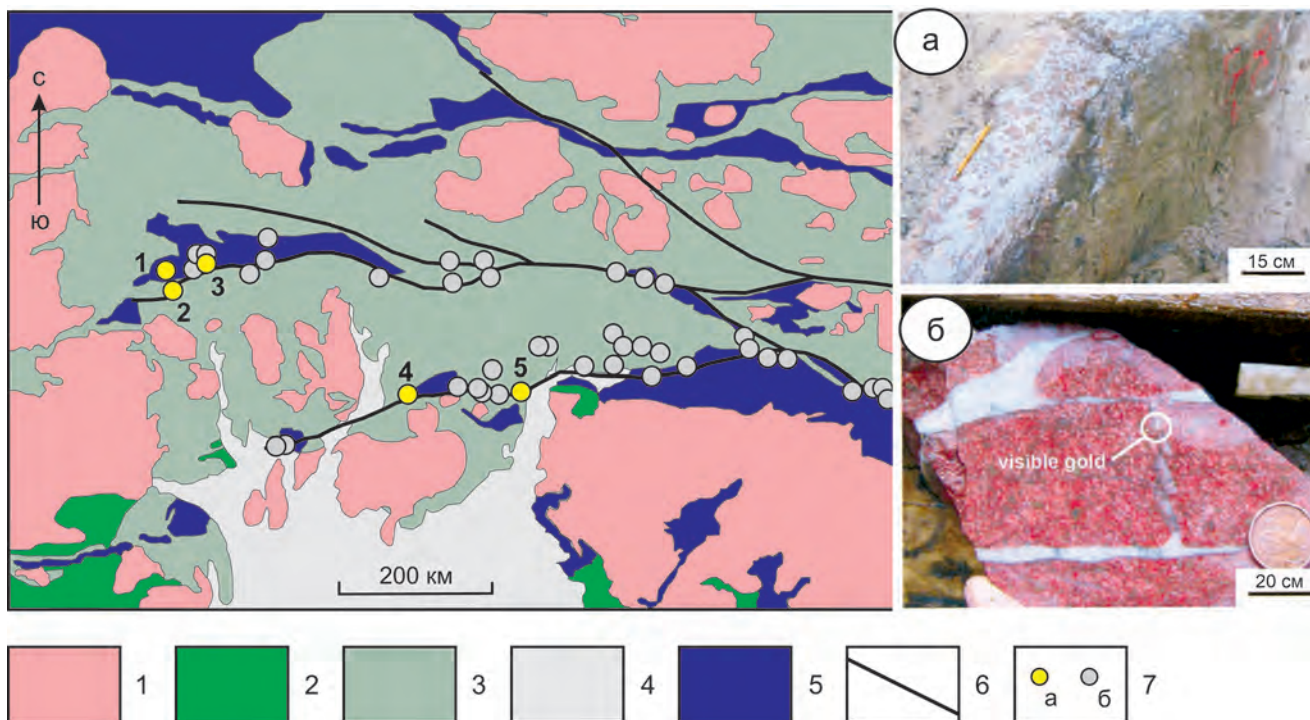
фидами (до 4%): пиритом с подчиненным количеством пирротина, сфалерита, халькопирита, галенита, блеклых руд, арсенопирита, шеелита, молибденита и теллуридов. Золото свободное в кварце и в сульфидах.

Близкое строение имеют золоторудные месторождения – **Ред-Лейк** (Red Lake) и **Кемпбелл**

(Campbell). По данным (Robert, Poulsen, 1997), здесь рудоконтролирующими являются секущие северо-восточные и запад-северо-западные сдвиговые зоны (этапы Д<sub>4,5</sub><sup>а</sup>).

Месторождение **Калгурли** (Kalgoorlie) расположено в Западной Австралии, приурочено к кратону Йилгарн и локализовано в пределах ЗП Норсмен-





**Рис. 4.** Геологическая карта ЗП Абитибид с главными сдвиговыми зонами (этапы  $D_{4-5}^a$ ), месторождениями золота и фото золоторудной минерализации, по (Dube, Gosselin, 2007) с упрощениями.

1 – гранитоиды; 2 – интрузии основных пород; 3 – вулканогенные породы; 4 – протерозойский чехол; 5 – терригенные породы; 6 – главные разломы; 7 – месторождения (а) и проявления (б) золота (1 – Макинтайр-Холлинжер, 2 – Доум, 3 – Памоур в сдвиговой зоне Поркьюпайн-Дестор; 4 – Кирклэнд Лейк, 5 – Керр-Аддисон в сдвиговой зоне Лардер Лейк-Кадиллак). На фото из месторождения Кирклэнд-Лейк: а – жила кварцевой брекчии; б – высокозолотоносные кварцевые прожилки в сиените, с видимым золотом, вкрапленным пиритом и теллуридами.

**Fig. 4.** Geological map of the Abitibi Greenstone Belts with the main shift zones (stages  $D_{4-5}^a$ ), gold deposits and photos of gold mineralization, by (Dube, Gosselin, 2007) with simplifications.

1 – granitoids; 2 – intrusions of the basic rocks; 3 – volcanic rocks; 4 – Proterozoic cover; 5 – terrigenous rocks; 6 – main faults; 7 – deposits (a) and manifestations (b) of gold (1 – McIntyre-Hollinger, 2 – Dome, 3 – Pamour in the Pocupine-Destor fault zone, 4 – Kirkland Lake, 5 – Kerr-Addison in the fault zone Larder Lake-Cadillac). The photo from the Kirkland Lake deposit: a – quartz-breccia vein; b – high-gold quartz veinlets in syenite, with visible gold, disseminated pyrite and traces of tellurides.

Вилуна субмеридионального направления (Phillips et al., 1996; Vielreicher et al., 2016). Оруденение развито в метабазитах верхнеархейского возраста, на участке погружения синклинали Калгурли (этап  $D_3^a$ ), осложненной продольным разломом (этап  $D_{4-5}^a$ ) Голден-Майл. Рудоносная трещинная система прослеживается на 4 км при максимальной ширине 1–1.2 км до глубины около 1.5 км между несколькими субпараллельными ветвями разлома Голден-Майл север-северо-западного простирания. Она включает более 300 крутопадающих зон золотоносной вкрапленности сульфидов и теллуридов мощностью от 0.6 до 24 м. Золото встречается в виде микровключений в пирите, 15–20% золота содержится в теллуридах и часть свободное самородное.

Наиболее крупный объект Бразилии – месторождение **Морро-Вельо** (Morro Velho) – локализовано в горизонтах сидеритовых кварцитов, слюдисто-

анкеритовых и кварц-доломитовых сланцев возрастом 800 млн лет (Парк, Мак-Дормид, 1966). Оно контролируется мощной, многокилометровой, зоной расщелачивания (этап  $D_{4-5}^n$ ), местами сопровождающейся кварцевыми метасоматитами. В крутопадающих зонах расщелачивания развито лентообразное рудное тело мощностью от 0.5 до 28 м, прослеженное на протяжении около 5 км и до глубины 2.5 км.

Крупнейшее месторождение золота Венесуэлы – **Лас-Кристинас** (Las Cristinas) – приурочено к ЗП Гвианского щита. Располагается в позднеархейско-раннепротерозойских вулканитах основного состава, слагающих крыло синклинали (Bernasconi, 1999). Оруденение локализовано в зоне расщелачивания (этап  $D_{4-5}^n$ ) шириной 200–500 м, вытянутой в субмеридиональном направлении на 2.5 км и более. Выявлены 4 этажно расположенные наклонные пластообразные залежи прожилково-вкрапленных

руд в пирит-анкерит-серицит-хлоритовых метасоматитах. Главные рудные минералы ( $\geq 5\%$ ) представлены пиритом и халькопиритом, также присутствуют пирротин, галенит, сфалерит, пентландит. Золото тонкое (от первых мкм до 0.1 мм), находится в виде включений в кварце, а также ассоциирует с сульфидами.

Таким образом, месторождения Макинтайр-Холлинжер, Доум, Кэмпбелл, Ред-Лейк, Калгурли, Морро-Вельо, Лас-Кристинас располагаются в древних архей-протерозойских ЗП. Контролируют рудную минерализацию оперяющие трещины и осложнения протяженных продольных и поперечных сдвиговых зон расланцевания коллизионно-транспрессионной стадии (этап  $D_{4.5}$ ). Особенность заключается в проявлении вдоль них даек и штоков пестрого состава, свидетельствующих о глубинности коллизионных швов.

#### 4. Субдукционный тип в СП (этап $D_2$ )

Месторождение **Кумтор** (Киргизия) находится на территории Срединного Тянь-Шаня, вблизи “линии Николаева” – сутуры восток-северо-восточного простирания протяженностью сотни километров. Месторождение приурочено к оперяющей линии Николаева Кумторской зоне смятия надвиговой природы длиной более 7 км и мощностью 300–400 м (Никоноров, 1993) с углами падения 25–55° к юго-востоку. Вкрапленно-прожилковое и штокверковое золотое оруденение локализуется в кремнисто-карбонатно-терригенных породах венда, выделяются две параллельные зоны деформаций и золотой минерализации мощностью десятки метров с падением (45–60°) на юго-восток, разделенные интервалом 30–50 м слабо минерализованной породы. Они имеют протяженность 700–1000 м, ширину 40–80 м, среднее содержание золота 2–4 г/т.

Месторождение **Сухой Лог** (рис. 5) приурочено к границе Сибирской платформы, находится в центральной части Мамско-Бодайбинского синклинали (Иванов, 2014), сложенного турбидитами среднего рифея-венда. В силурийское время они испытали сложную складчатость (этапы  $D_{1-2}^{\text{ф}}$ ) и была сформирована покровно-складчатая структура (Корольков, 2007; Зорин и др., 2008) при аккреции Баргузинского микроконтинента и Сибирского палеоконтинента.

Отмечается (Соколов, 1992), что в синклинали развиты надвиги, вязкие разрывы, кливаж и сжатые складки двух этапов деформаций (этапы  $D_{1-2}^{\text{ф}}$ ). Главной структурой является Сухоложская сильно сжатая асимметричная антиклиналь (см. рис. 5), осевая поверхность которой имеет субширотное простирание с падением на север (20–25°), а ее шарнир полого (0–15°) погружается на северо-запад (Золоторудные месторождения..., 2010). К осевой

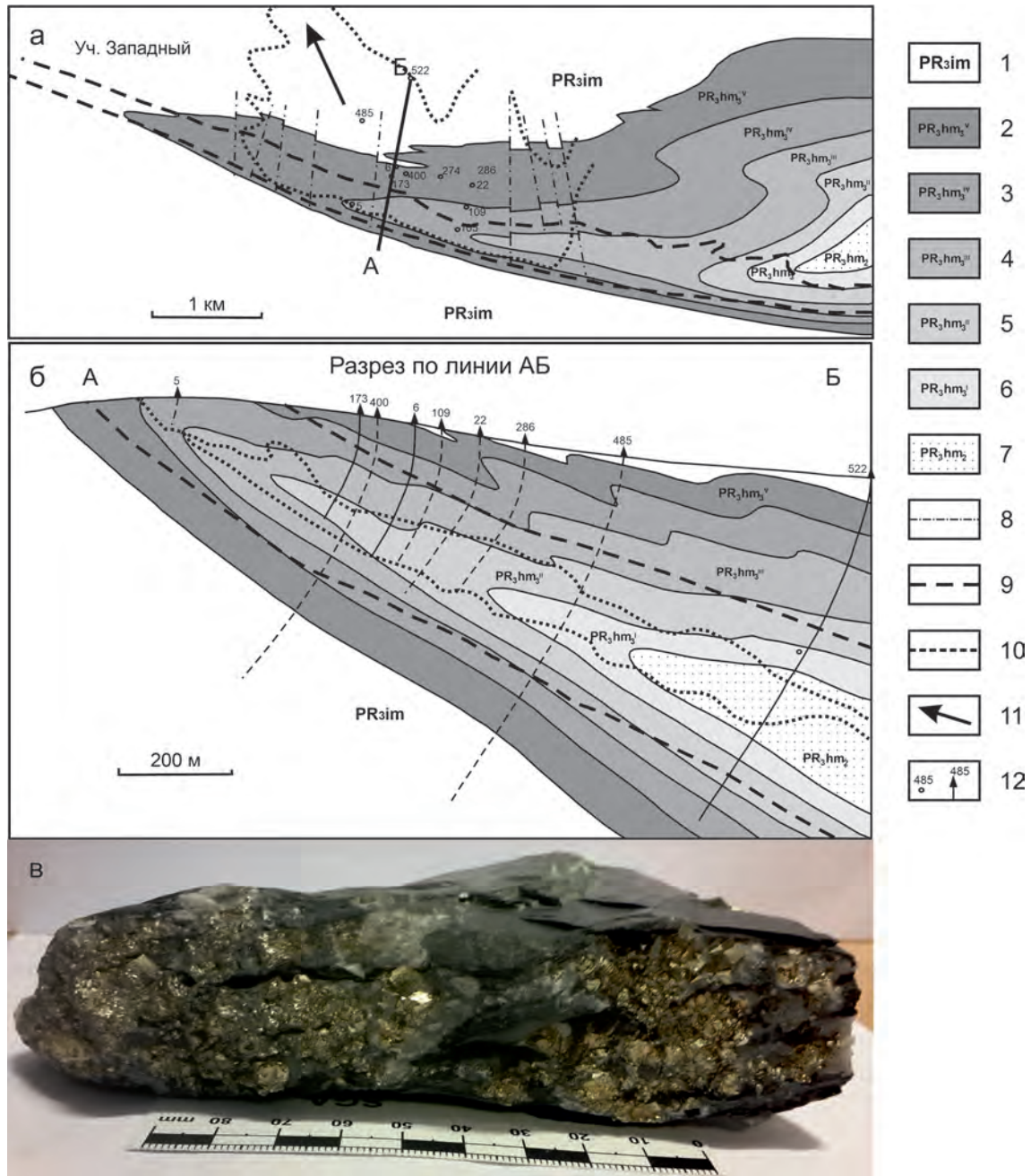
зоне антиклинали приурочена тектоническая зона смятия (этап  $D_2^{\text{ф}}$ ) мощностью 50–250 м, падающая на север-северо-восток под углами 20–30°. Зона смятия характеризуется развитием мелких складок, будинаж-структур и многочисленных вязких разрывов по кливажу. Рудная залежь, контурами совпадающая с тектонической зоной смятия, пластообразная, мощность ее колеблется от 15 до 140 м. Она простирается в субширотном направлении на 3000 м и погружается к северо-северо-востоку под углами 15–35°, прослежена по падению на 1100–1500 м (Золоторудные месторождения..., 2010). Золотое оруденение представлено расланцованными углеродистыми алевросланцами, содержащими рассеянные вкрапления, прожилки, гнезда карбонатов и сульфидов. Наиболее богатые руды (4.9 г/т Au) располагаются в местах пересечения пиритизированных пластов сланцев с осевой зоной складки, где они образуют рудные столбы вдоль погружающегося гребня антиклинали.

Месторождение **Телфер** (Telfer) в Австралии расположено в нижнепротерозойской терригенно-карбонатной толще (Некрасов, Дорожкина, 2015) и приурочено к пачке переслаивания песчаников и аргиллитовых сланцев, смятых в брахиантиклинальные складки ( $D_3^{\text{н}}$ ) северо-западного простирания. Позиция и особенности пластовых рудных тел ярусного строения, прослеженных более чем на 1 км при мощности 1–3 м, указывают на их связь с разрывными структурами этапа  $D_2^{\text{н}}$  (надвиги, вязкие разрывы). Руды характеризуются кварц-доломит-пирит-халькопиритовым составом. Сульфиды (более 5%) представлены преимущественно пиритом и халькопиритом, в меньшем количестве присутствуют блеклая руда, энаргит, арсенопирит, сфалерит и галенит. Золото тонкодисперсное (5–30 мкм), образует включения в пирите и халькопирите.

Таким образом, месторождения субдукционного типа – Кумтор, Сухой Лог, Телфер – располагаются непосредственно в разрывных структурах этапа  $D_2$  – в шарьяжных зонах и их разветвлениях и осложнениях, в зонах смятия и вязких разрывов, причем часто отмечается локализация вкрапленных руд в интенсивно расланцованных черных сланцах по кливажным трещинам.

#### 5. Субдукционно-коллизионный тип в СП (этапы $D_2$ и $D_{4.5}$ )

Месторождение **Ашанти** (Ashanti) в рудном поле Обуаси (Гана) расположено на Западно-Африканском щите, в пределах палеопротерозойского СП. Разрез сложен филлитами, граувакками и туфами, чередующимися с вулканитами разного состава. Месторождение локализовано в зоне расланцевания (этап  $D_4^{\text{н}}$ ) шириной 400–600 м, вблизи контакта вулканитов и осадочных пород. Орудене-



**Рис. 5.** Геологическая карта (а), разрез (б) месторождения Сухой Лог, по (Русинов и др., 2008) с дополнениями, и изменениями и типичная руда (в).

1 – имнякская свита (известняки, известково-сланцевые сланцы, известковистые песчаники и алевролиты); 2–6 – хомолхинская свита, верхняя подсвита: пачки разного соотношения переслаивающихся углеродистых филлитов, алевролитов и песчаников; 7 – хомолхинская свита, средняя подсвита, кварцитовидные песчаники с прослоями алевролитов и сланцев; 8 – тектонические нарушения; 9 – границы рудовмещающей зоны расланцевания; 10 – контуры рудной залежи в проекции на горизонтальную плоскость и в разрезе; 11 – погружение рудной залежи; 12 – скважины и их номера, по материалам (Карпенко и др., 2006).

**Fig. 5.** Geological map (a), section (b) of the Sukhoi Log deposit, by (Rusinov et al., 2008) with additions and changes, and typical ore (v).

1 – Imnyakhskaya suite (limestone, lime-mica schists, calcareous sandstones and siltstones); 2–6 – Khomolkhinskaya suite, the upper part: bundles of different ratios of interlayer carbonaceous phyllites, siltstones and sandstones; 7 – Khomolkhinskaya suite, average part (quartzite-like sandstones with layers of aleurolite and shale); 8 – tectonic disturbances; 9 – the boundaries of the ore-hosting exfoliation zone; 10 – contours of ore deposit in projection on a horizontal plane and in a section; 11 – the dip of the ore deposit; 12 – borehole and their numbers, based on (Karpenko et al., 2006).

нию подвергся участок зоны протяженностью около 1.5 км, где проявилась серия сжатых складок с угловатыми шарнирами и крыльями, погружающимися под углами 60–80°. Шарниры складок вытягиваются в север-северо-восточном направлении. Региональная зона расщепления здесь изгибается и расщепляется на 3–4 субпараллельные ветви (Vlenkingsop et al., 1994). Мощность ветвей 20–30 м, в их пределах степень расщепления филлитов резко возрастает, развиваются тектонические швы и плоскости скольжения с углистыми минералами и дайки габбро-диабазов.

На месторождении проявлено три этапа деформации (Fougerouse et al., 2017): первый (ранний) – образование сланцеватости (этап  $D_1^n$ ); второй – изоклиальная складчатость (этап  $D_2^n$ ), сопровождаемая вкрапленностью золотоносного арсенопирита во вмещающих породах; третий – зоны разломов (этап  $D_4^n$ ) с мощными высокозолотоносными кварцевыми жилами. Выделяется (Константинов и др., 2000) два главных типа руд: сульфидные прожилково-вкрапленные и кварцевые жилы, содержащие свободное золото. Выявлены четыре жилы протяженностью до 800–1000 м и мощностью до 17 м. Это секущие, разветвляющиеся, плитообразные жилы с короткими (десятки метров при мощности 0.5–1.5 м) апофизами. Иногда вдоль стенки жил наблюдается зона дробления, выполненная пиритизированным, окварцованным, графитизированным веществом. Оруденение прослежено до глубины 1500 м.

Месторождение **Бендиго** (Bendigo) расположено в Австралии (штат Виктория) в зоне Бендиго-Балларат (Sharpe, Mac'Geehan, 1990). Это субмеридиональный СП протяженностью 120 км и шириной 40–60 км, сложенный ордовикскими флишевыми и сланцевыми толщами, в среднем девоне смятыми в сжатые изоклиальные складки (этап  $D_2^{\phi}$ ) и разбитыми многочисленными нарушениями (этап  $D_{4-5}^{\phi}$ ). Среди рудных тел преобладают седловидные жилы, приуроченные преимущественно к замкам антиклиналей и реже – к замкам синклиналей, а также пластообразные залежи в согласных надвигах (этап  $D_2^{\phi}$ ) и секущие жилы (этап  $D_{4-5}^{\phi}$ ).

Месторождение **Олимпиада** (Новожилов и др., 1986, 2014) размещается в северной части Енисейского кряжа. Площадь сложена терригенно-карбонатными породами нижнего рифея, метаморфизованными в условиях зеленосланцевой и амфиболитовой фаций и прорванными телами гранитоидов (Генкин и др., 1994; Ли, 2003). Рудные тела залегают в горизонте слюдяно-карбонатно-кварцевых сланцев мощностью до 300–350 м в раздувах замков складок и первые десятки метров на их крыльях. На месторождении выделяется сжатая субширотная Медвежинская антиклиналь. Серия складок (этап  $D_2^n$ ) второго порядка с пологими шарнирами (8–10°) и пологим кливажом осложня-

ет замок антиклинали (Журавлев, 2016). Руды месторождения образуют “субсогласные складчатости”, стратифицированные залежи (этап  $D_1^n$ ) седловидной формы с максимальной мощностью в замках складок и с постепенным выклиниванием на крыльях. Крупная залежь (80% запасов) в антиклинали сложена вкрапленными пирит-арсенопирит-пирротиновыми рудами в теле кварцевых и кварц-карбонатно-березитовых метасоматитов. Аркообразная залежь мощностью до 400 м, следуя склонению шарнира, погружается в восточном направлении до глубины 800 м. Золотое оруденение других участков приурочено к единой стратиформной залежи, наследующей морфологию распространенных здесь лежащих складок, что обусловило проявление согласной со слоистостью зигзагообразной залежи вкрапленных руд золота. Золото установлено в сочетании с арсенопиритом и кварцем, реже с пиритом, марказитом, антимонитом, карбонатами, причем прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация составляет 3–5%.

Месторождение **Мурунтау** в Кызылкуме (Узбекистан) приурочено к догерцинским метаморфическим образованиям основания складчатого пояса Южного Тянь-Шаня, относящимся к различным фаціальным зонам Кызылкумского палеобассейна. Процессы субдукции, отмечаемые в конце силурийского времени на его южной окраине, сопровождались образованием Тасказган-Бесапанской аккреционной призмы, позже (в карбоновое время) вошедшей в состав герцинид Южного Тянь-Шаня. В Тасказган-Бесапанской призме выделяется два метатерригенных аллохтонных комплекса, фактически два типа разреза – окраинно-континентальный и внутритрокеанический, разделенных швом шарьяжа (Мухин и др., 1991). Месторождение (рис. 6) располагается в этом Главном шарьяже (этап  $D_2^{\phi}$ ), к зоне которого приурочено тектоническое тело “Мурунтауской линзы” (Мухин и др., 1988). Это тектоническое тело вмещает золото-кварцевую минерализацию Главной рудоносной залежи Мурунтау (Золоторудное месторождение..., 1998). Мощность Главного шарьяжа достигает здесь до 1 км, и он распадается на несколько швов – вязких разрывов (мощностью 10–30 м), расчленяющих рудовмещающую толщу “Мурунтауской линзы”. Эти вязкие разрывы представляют собой зоны сгущения кливажа и интенсивной тектонизации. Вторичные изгибы поверхности шарьяжа и конформных ему вязких разрывов (этап  $D_3^k$ ) определяют пластово-седловидную форму Главной рудоносной залежи Мурунтау.

Гигантский штокверк состоит из многочисленных элементов (см. рис. 6а–г). Установлено (Золоторудное месторождение..., 1998), что субсогласные кварцевые прожилки и метасоматиты (этап  $D_1^{\phi}$ ) характеризуются невысокими средними содержаниями золота. В жилах по кливажу и вязких

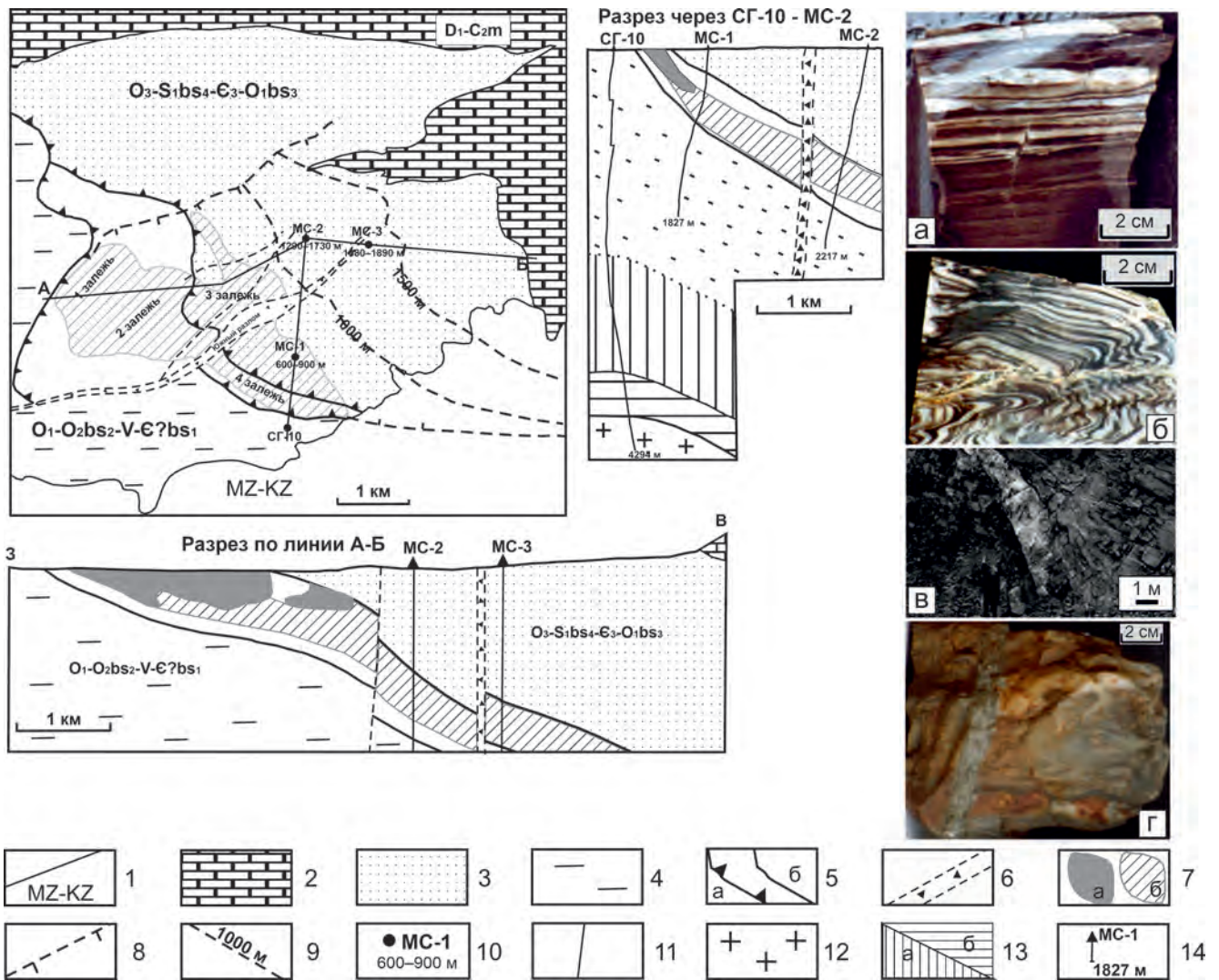


Рис. 6. Структурная схема Мурунтауской линзы и разрезы через нее. Фото руд месторождения.

1 – граница выходов домезозойского складчатого основания; 2 – девон-каменноугольные карбонатные породы; 3, 4 – бесапанская свита: 3 – окраинноконтинентального типа  $E_3-O_2bs_3-O_3-S_1bs_4$  – песчаники и алевролиты слюдисто-кварцевые, переслаивание алевролитов углеродисто-кварцевых, пелитов углеродисто-сланцевых; 4 – внутриокеанического типа  $V-C?bs_1-O_1-O_2bs_2$  – метапесчаники и метаалевролиты слюдисто-кварц-полевошпатовые, переслаивание метаалевролитов биотит-серпичит-кварцевых и сланцев углеродисто-биотит-кварцевых; 5 – Мурунтауская линза и ее шарьяжные границы на схеме (а) и разрезах (б); 6 – поздние крутопадающие разломы; 7 – рудоносная залежь: разведанная часть на разрезах (а), предполагаемая по результатам глубокого бурения на разрезах и проекция на дневную поверхность разведанной части (б); 8 – предполагаемые границы рудоносной залежи; 9 – изогипсы кровли рудоносной залежи (с учетом структурных данных и результатов бурения скважин-спутников); 10 – скважины-спутники MC-1, MC-2, MC-3 и отметки глубины вскрытия рудоносной залежи; 11 – линии разрезов; 12 – гранитоиды, 13 – контур развития роговиков (а) и скарновых (б) изменений, 14 – скважины и глубина до забоя.

Фото руд месторождения Мурунтау: а – полосчатый биотит-полевошпат-кварцевый метасоматит, с субогласными кварцевыми прожилками; б – полосчатый метасоматит смятый в складки; в – “стержневые жилы” в карьере Мурунтау; г – полосчатый биотит-полевошпат-кварцевый метасоматит, смятый в складку, пересечен кварц-арсенипиритовым прожилком. (фото W. Schuh; в – фото из (Goldfarb et al., 2014)).

Fig. 6. Block diagram of the Muruntau lens and cuts through it. Foto of ores.

1 – the boundary of the Pre-Mezozoic folded base; 2 – Devonian-Carbonaceous carbonate rocks; 3, 4 – Besapan suite: 3 – marginal continental type –  $E_3-O_2bs_3-O_3-S_1bs_4$  – mica-quartz sandstones and siltstones, the intercalation of carbon-quartz aleurolites and carbonaceous mica pelites; 4 – intra-oceanic type  $V-C?bs_1-O_1-O_2bs_2$  – mica-quartz-feldspathic metasandstones and metasilstones, interlaying of biotite sericite-quartz metasilstone and carbonaceous-biotite-quartz schists; 5 – Muruntau lens and its thrust nappe borders on the diagram (a) and on the cuts (b); 6 – late steeply dipping faults, incl. Southern thrusts; 7 – ore-bearing deposit: the explored part on the cuts (a), the continuation on the cuts assumed by the results of deep drilling and the projection onto the surface of the explored part (b); 8 – estimated boundaries of the ore-bearing deposit; 9 – isohypses of the roof of the ore-bearing deposits (taking into account structural data and the results of drilling of satellite borehole); 10 – borehole-satellites MS-1, MS-2, MS-3 and the depth of opening of the ore-bearing deposits; 11 – cuts lines; 12 – granitoids; 13 – contours of the development of hornfels (a) and skarn (b) changes; 14 – borehole and bottomhole depth.

Foto of ores: a – banded biotite-feldspar-quartz metasomatite, with sub-consistent quartz veinlets; б – banded metasomatite crumpled in folds; в – “core veins” in Muruntau quarry; г – banded biotite-feldspar-quartz metasomatite, crushed into a fold, crossed by a quartz vein along cleavage, (photo Wolfram Schuh; в – photo from (Goldfarb et al., 2014)).

разрывах (этап  $D_2^{\Phi}$ ), внутрипластовых секущих жилах и метасоматитах (этап  $D_3^{\Phi}$ ), “стержневых” жилах (этап  $D_4^{\Phi}$ ) сравнительно высокие средние содержания золота. Также высокие содержания золота отмечены в более поздних (герцинских) жилах и альбит-серицит-хлорит-кварцевых метасоматитах с арсенопиритом, развитых локально в зонах северо-восточных разломов (этап  $D_5^{\Phi}$ ).

Неравномерность развития элементов структуры в объеме месторождения (Савчук и др., 1987) и разная золотоносность контролируемой ими минерализации создают “местные” особенности выделяемых четырех обобщенных рудных залежей. Первая рудная залежь расположена на северо-западе, основу ее составляют рудные тела, согласные со слоистостью, определяющей пологий и согласный характер залежи, имеют сравнительно невысокие и равномерные содержания золота. Вторая рудная залежь занимает центр карьера, связана с зоной северо-восточного разлома, где развиты секущие “стержневые” жилы с высокими содержаниями золота. Третья рудная залежь вскрыта восточными уступами карьера и подземными горными выработками, основой являются субсогласные рудные тела и, в небольшом количестве, крупные жильные тела. Четвертая рудная залежь изучена на поверхности и в подземных горных выработках, здесь широко проявились жильные тела в зонах вязких разрывов. Отметим, что на всех участках лишь небольшую долю (10–15%) составляют секущие рудные тела, которые можно связать с сульфидсодержащими ассоциациями (см. рис. 6г).

Таким образом, месторождения Ашанти, Бендиго, Олимпиада и Мурунтау отнесены к типу совмещения синкинематического оруденения (этапы  $D_{1-2}$ ), располагающегося в зонах шарьяжей и вязких разрывов и часто имеющего увеличенную мощность в замках складок и пережатую в крыльях (что характерно для пород, испытавших динамотермальный метаморфизм) и секущего коллизионно-транспрессионного (этапы  $D_{4-5}$ ) оруденения (наличие угловатых складок, наложение рудной минерализации на дайки пестрого состава и др.).

#### 6. Коллизионно-транспрессионный тип в СП (этапы $D_{4-5}$ )

Крупнейшее на Аляске золоторудное месторождение **Донлин-Крик** (Donlin Creek) располагается в центральной части СП Кускокуим. Оруденение приурочено к региональному северо-восточному сдвигу, контролирующему штоки и дайки фельзит-порфиоров, гранит-порфиоров и риодацитов, прорывающих нижнемеловую толщу песчаников, аргиллитов и глинистых сланцев (Goldfarb et al., 2004). Выделяется более 10 жильно-прожилковых рудных зон, приуроченных к мощному правостороннему сдвигу (этап  $D_{4-5}^{\Phi}$ ). Наиболее крупная рудная

зона протяженностью более 2 км имеет мощность 100–150 м. В метасоматитах даек и штоков развиты круто наклоненные линейные прожилковые и штокверковые рудные тела мощностью от 3–5 до 10–25 м.

Месторождение **Нежданнинское** (Гамянин и др., 2001) располагается в Южном Верхоянье, где Н.А. Горячев (1998) выделяет Аллах-Юньский золото-кварцевый пояс. Рудовмещающие нижнепермские углеродистые алевролиты с прослоями песчаников смяты в антиформу северо-восточной ориентировки. Ее осевая часть осложнена субпараллельными близмеридиональными зонами смятия и дробления, имеющими вертикальное или крутое (70–80°) падение. Отмечаются дайки диоритовых порфириров и лампрофириров. Рудные тела, локализуясь в разломах (этап  $D_{4-5}^{\Phi}$ ), относятся к трем структурно-морфологическим типам: минерализованные зоны смятия и дробления, насыщенные вкрапленностью (до 10–15%) арсенопирита и пирита, оперяющие плитообразные жилы и штокверкоподобные жильные зоны, с глубиной переходящие в единичные жилы (Горячев, 1998). Наиболее богатое оруденение локализовано в плитообразных кварцевых жилах, сформированных в трещинах отрыва и скола, оперяющих главные рудные зоны (Гамянин и др., 2001).

Месторождение **Наталка** располагается в Верхояно-Колымском СП, возникшем в результате столкновения в конце поздней юры–начале раннего мела Верхоянской пассивной окраины Сибирского палеоконтинента, со сложно построенным коллажем из чешуй разного состава и происхождения, объединенных в Колымо-Омолонский супертеррейн (Парфенов и др., 2001). Образовавшееся коллизионное сооружение сложено терригенными породами пермского возраста.

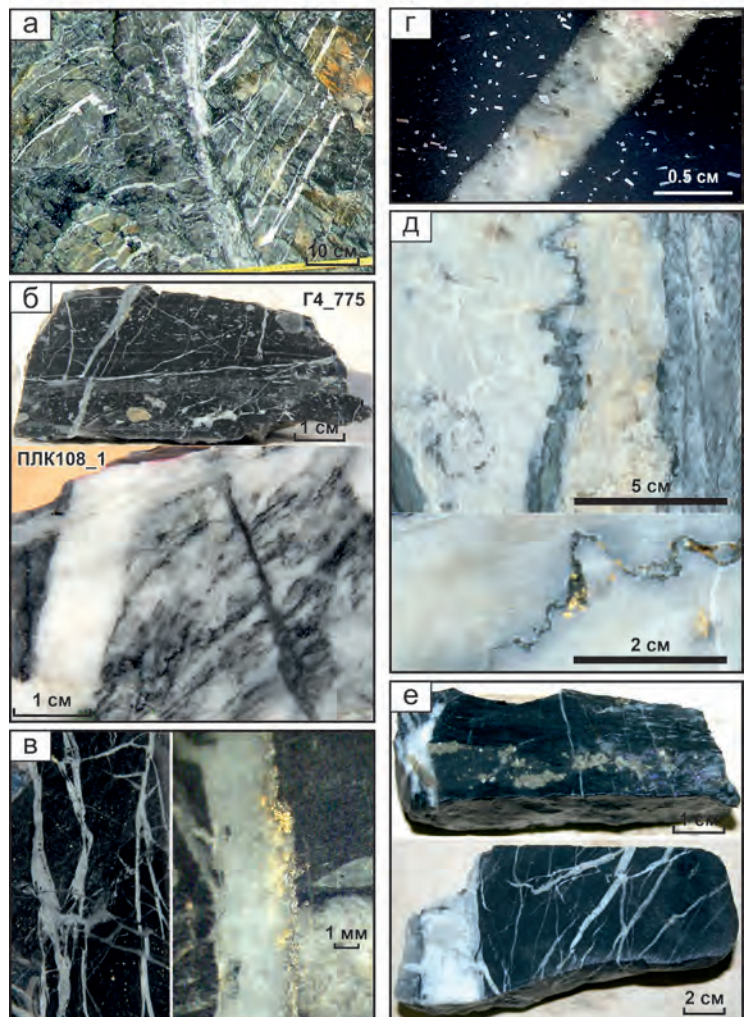
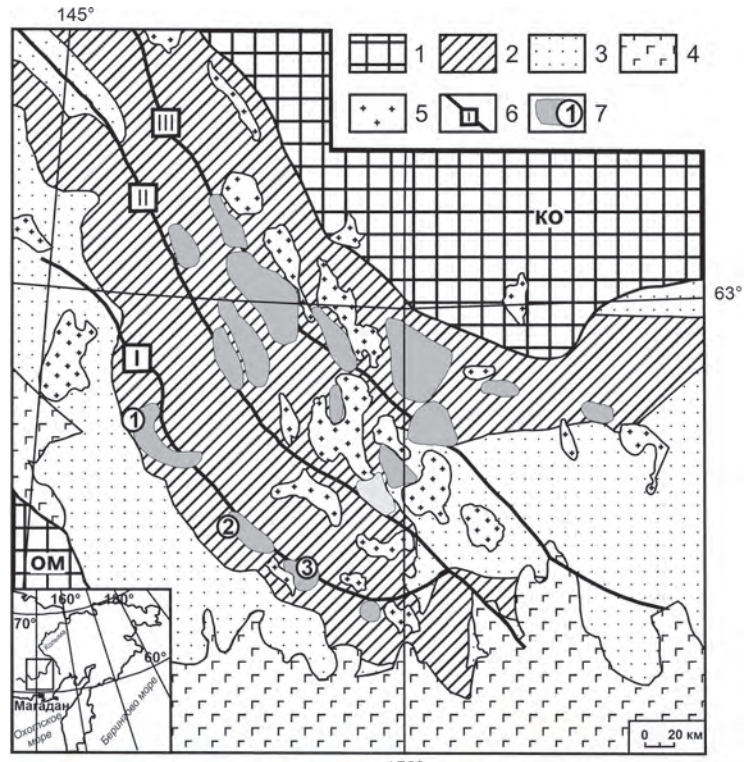
Золотые месторождения здесь приурочены к областям влияния региональных сдвигов (этап  $D_4^{\Phi}$ ) северо-западного простирания (Горячев, 1998). В наиболее рудоносном Центрально-Колымском золоторудном регионе (рис. 7) выделяется Тенькинский глубинный разлом сдвиговой природы (Шахтыров, 1997), который контролирует несколько рудно-россыпных узлов, в том числе Омчакский с месторождением Наталка. Непосредственно на поверхности выделяется Омчакский разлом крутого (70–75°) северо-восточного падения, представленный серией субпараллельных и оперяющих трещин, зон дробления и развальцевания. К разломам приурочены дайки спессартитов. Для месторождения Наталка (Гончаров и др., 2002; Месторождение Наталкинское, 2006) основная структура – это разрывная зона (этап  $D_{4-5}^{\Phi}$ ) северо-западной ориентировки, к югу приобретающая плавный перегиб в широтном направлении, где сочленяется с Омчакским разломом. Падение рудовмещающих взбросов северо-восточное, 45–60°, с постепенным вы-

**Рис. 7.** Схема геологического строения Центрально-Колымского золоторудного региона, по (Стружков и др., 2009) с изменениями, и руды золотых месторождений.

1 – террейны (ОМ – Охотский кратонный террейн, КО – Колымо-Омолонский супертеррейн); 2 – отложения континентального склона; 3 – отложения шельфа; 4 – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП); 5 – гранитоиды; 6 – региональные разломы (I – Тенькинский, II – Чай-Юрьинский, III – Дебинский); 7 – рудно-россыпные узлы вдоль Тенькинского разлома (1 – Дегдеканский, 2 – Омчакский, 3 – Пионерский). На врезке – положение Центрально-Колымского региона. На фото: а – жильно-прожилковые руды месторождения Наталка (фото М.В. Наталенко (Золоторудные месторождения..., 2010)); б – прожилково-вкрапленные руды месторождения Павлик; в – прожилковидные выделения золота в секущих кварцевых прожилках (месторождения Павлик и Наталка); г – вкрапленные руды месторождения Делювиальное; д – жильные руды месторождения Жданное; е – жильные и вкраплено-прожилковые руды месторождения Дразное.

**Fig. 7.** Scheme of the geological structure of the Central Kolyma gold ore region, according, by (Struzhkov et al., 2009) with changes and typical ores of the main gold deposits.

1 – terranes (OM – Okhotsk cratonal terrane, KO – Kolyma-Omolon superterrane); 2 – deposits of the continental slope; 3 – shelf deposits; 4 – Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt (OCVB); 5 – Late Jurassic–Early Cretaceous granitoids; 6 – regional faults (I – Ten'ka, II – Chai-Yur'in, III – Debin); 7 – main ore-placer knots (RDL) along the Ten'ka fault (1 – Degdekan, 2 – Omchak, 3 – Pioneer). The inset shows the position of the Central Kolyma region. In the photo: a – vein-veinlets ore of the Natalka deposit (photo M.V. Natalenko (Zolotrudnye mestorozhdeniya..., 2010)); б – vein-impregnated ores of the Pavlik deposit; в – streaky gold in intersecting quartz veins and in their bandages (deposits Pavlik and Natalka); г – interspersed ores of the Deluvialnoe deposit; д – vein ores of the Zhdannoe deposit; е – vein and intersized and vein ores of the Drazhnoye deposit.



полаживанием вниз. Мощность швов составляет 0.5–2.0 м, они сопровождаются дроблением и развальцеванием пород в зоне шириной 3–20 м с тонкосетчатым окварцеванием. В плане рудные зоны, заключенные между этими разрывными структурами, образуют пучок протяженностью около 5 км и шириной 100–200 м на северо-западе, до 600 м на юго-востоке. Среди рудной минерализации выделяются: взбросо-сдвиговые зоны с углеродистыми милонитами и сульфидной вкрапленностью, а также зоны объемной трещиноватости, смятия и дробления в межразломном пространстве, с развитием кварцевых и кварц-карбонатных прожилков. Такие особенности характерны для погружающегося на северо-восток рудного штокверка.

На месторождении **Линглонг** (Linglong) в Китае большая часть руд заключена в милонитизированных контактах докембрийских метаморфических пород или в многочисленных сближенных маломощных кварцевых прожилках, секущих гранитоиды мезозойского возраста (Goldfarb, Santosh, 2014). Руды золото-пирит-кварцевые, малосульфидные, содержания металла – первые граммы на тонну – повышаются в более поздних минеральных парагенезисах.

Золотые месторождения коллизионного типа контролируются протяженными крупными разрывными нарушениями и системами оперяющих трещин, развивающимися по схеме транспрессионных сдвигов, причем в ранний этап  $D_4$  обычно происходит внедрение даек и штоков пестрого состава, а уже в следующей этап  $D_5$  – отложение золотоносной минерализации. Такие особенности обусловили размещение на некоторых месторождениях части рудной минерализации в дайках пестрого состава (Донлин-Крик) или гранитоидных породах (Линглонг).

#### ОБСУЖДЕНИЕ. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

Крупные и суперкрупные орогенные месторождения различных типов, несмотря на размещение в ЗП и СП разных возрастов, имеют следующие структурные особенности. Для **субдукционного типа** рудоконтроль осуществляется динамометаморфическими структурами этапов  $D_1$  и  $D_2$  – зонами шарьяжей между аллохтонными комплексами, локальными надвигами (так называемые “вязкие разрывы”), зонами смятия, кливажирования; характерны многоярусные пластово-седловидные, наклонные соскладчатые залежи. Основу рудных залежей составляют: а) жильно-прожилково-метасоматические золото-кварцевые, золото-сульфидно-кварцевые руды (Кибали, Мурунтау, Кумтор, Бендиг) и б) прожилково-вкрапленные золото-сульфидные руды (Хоумстейк, Сухой Лог, Олимпиада). По времени образования это оруждение предваряет гранитоидный магматизм I- и S-типа (Буряк, 1975; Коновалов, 1985; Соколов, 1992). Более поздними являются дайки пестрого состава, пересечение которыми рудной минерализации установлено на ряде золотых месторождений (Мурунтау). Таким образом, субдукционный тип орогенных месторождений золота имеет четкие временные рамки в пределах тектонического процесса формирования аккреционной призмы, контролируется определенными шарьяжными структурами и подчиняется элементам их пространственного положения, что и позволяет выделять самостоятельную группу этих объектов.

**Коллизионно-транспрессионный тип** месторождений контролируется продольными и реже

поперечными к складчатому поясу региональными сдвиговыми структурами этапов  $D_{4-5}$ . Для них характерны: серии параллельных нарушений, сравнительно большая мощность (десятки–первые сотни метров) и значительная протяженность (до десятков километров и более) тектонизированной зоны, значительная сдвиговая компонента при общем вертикальном характере перемещения с крутыми углами наклона ( $70-90^\circ$ ). Тектоническая зона выражена рассланцованными и брекчированными образованиями либо углеродистыми милонитами с зажатыми разновеликими блоками менее тектонизированных пород. Вдоль разломов порой развиты дайки пестрого состава, характерные для ранних этапов развития сдвиговых нарушений. В следующие этапы зафиксировано отложение кварцево-жильно-прожилковой и сульфидно-вкрапленной (пирит, арсенопирит) минерализации. Для взбросо-сдвигов характерен транспрессионный структурно-вещественный парагенезис, представляющий собой закономерное сочетание субвертикальных разрывов, надвигов, наложенной складчатости (Морозов, 2002), закономерно размещенных в пространстве магматических тел и жильных образований. Особенности структурного парагенезиса определяют морфологию рудных тел и залежей, их сочетание и положение в пространстве. Для наиболее крупных месторождений этого типа рудоконтролирующими являются оперяющие основные сдвиги наклонные и пологопадающие листрические разломы, с объемными трещинными зонами между ними, для которых характерны корытообразные залежи метасоматически-прожилково-вкрапленных руд золото-сульфидно-кварцевой и золото-сульфидной формаций.

В ряде случаев на крупных месторождениях проявлены руды как субдукционного, так и коллизионно-транспрессионного типа, причем часто трудно подсчитать их баланс. Обычно ранние руды субдукционной стадии слагают крупнообъемные тела со сравнительно низкими содержаниями золота, а развитые на их фоне более поздние локальные жильные образования характеризуются высокими содержаниями.

Д. Гровсом с соавторами предложена общая схема локализации орогенных золотых месторождений в различных структурных позициях (Groves et al., 2016). Если сопоставить эту схему с выделяемыми нами различными типами месторождений, то в ней находят свое место и субдукционный тип – “субсогласные залежи в замках складок”, а также рудные тела в “вязких разрывах и зонах смятия” и коллизионно-транспрессионный тип – секущие тела в разломах и трещинных структурах.

Традиционно генезис крупных орогенных золоторудных месторождений в ЗП и СП рассматривался с позиций магматической модели, в которой ведущая роль отводится магме разного состава,



которая являлась главным источником как гидротермальных растворов, так и рудного компонента, например, гранитный плутон (Groves et al., 2016). Основанием для этого стали: присутствие высокотемпературных метасоматитов, сложные и неоднозначные временные и пространственные соотношения оруденения с магматическими продуктами разного состава, повышенное содержание некоторых элементов (Горячев, 2014) и др. Позже развивались представления о метаморфогенном генезисе этих месторождений. Оценки потенциальных возможностей рудообразования магматических и метаморфических процессов привели к необходимости создания моделей, объединяющих обе гипотезы, учитывающих как сингенетическую золотоносность вмещающих толщ, так и высокую температуру процессов экстракции металла из них. Большинство современных исследователей развивают метаморфогенно-деформационную модель. Обобщившие эти представления Д. Гровс и М. Сантош (Groves, Santosh, 2016) отмечают, что источник золота орогенных месторождений неясен и предлагают общую графическую модель, которая иллюстрирует зональность и пространственные соотношения различных типов орогенного золотого оруденения: от золото-кварцевого внизу в высокотемпературной зоне, затем золото-мышьяк-теллур-вольфрамового и вверху – золото-сурьмяного; завершается процесс отложением ртутно-сурьмяных и ртутных руд. Подобная зональность нами была продемонстрирована на примере рудных объектов Кызылкума (Савчук, 1990; Савчук, Мухин, 1993). Таким образом, хотя последний вариант схемы Д. Гровса и М. Сантоша (Groves, Santosh, 2016) учитывает “зону хрупко-пластичного перехода”, роль различных структур не расшифрована и акцентированы лишь глубинные разломы, пересекающие континентальную кору и достигающие мантии. В связи с этим очевидна важность определения генезиса рудоконтролирующих структур, особенно выявления значения ранних из них – первично пологих шарьяжей, надвигов, вязких разрывов, зон смятия, кливажа, связанных с зонами субдукции. Более поздние структуры – транспрессионные сдвиги-взбросы – имеют листрический характер и достигают глубин лампрофировых выплавок. Но те и другие развиваются во время конвергентных процессов и являются поверхностным отражением перемещения блоков-террейнов по поверхности детачмента при сокращении поперечных размеров аккреционных призм. Вероятно, эта поверхность представляет собой не только тектоническую зону, но и канал, осуществляющий связь между различными глубинными уровнями зоны субдукции, откуда поступают рудоносные гидротермы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Позиция крупных и суперкрупных орогенных месторождений золота определяется локализацией в ЗП и СП в основании аккреционных призм, сформированных вулканогенными (ЗП) или углеродистыми песчано-сланцевыми (СП) окраинно-континентальными отложениями. Значительные вариации структурных форм объясняются геодинамической историей региона, а рудная минерализация локализуется в структурах субдукционной и коллизионно-транспрессионной стадий. Золотое оруденение на месторождениях часто полихронное, после рудоотложения в шарьяжно-кливажных нарушениях, в последующие этапы развития, в локальных трещинных структурах происходило образование богатых рудных тел. Это может свидетельствовать об унаследованном развитии рудообразующей системы или о перераспределении золота во время последующих тектонических процессов, сопровождавшихся гидротермальной активностью.

Для ЗП характерны золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые как субдукционные и субдукционно-коллизионные, так и коллизионно-транспрессионные орогенные месторождения. В более молодых СП преобладают золото-сульфидно-кварцевые и золото-сульфидные объекты (без учета Мурунтау) со значительной долей коллизионно-транспрессионных месторождений.

В результате анализа тектонических позиций и структурных особенностей крупных и суперкрупных орогенных месторождений золота выделено в каждом из двух классов (в ЗП и СП) по три типа – субдукционный (этапы деформаций  $D_1$  и  $D_2$ ), субдукционно-коллизионный (этапы деформаций  $D_2$  и  $D_{4-5}$ ) и коллизионно-транспрессионный (этапы деформаций  $D_{4-5}$ ). Таким образом, предлагается четкая привязка золотого рудообразования к субдукционно-коллизионным процессам на основе детального структурного анализа месторождений, с определением последовательности развития и генетической природы рудоконтролирующих нарушений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамович Г.Я. (2009) Понятия и термины геотектоники и глобальной металлогении: словарь-справочник. Иркутск: Изд-во Иркутск. гос. ун-та, 161 с.
- Буряк В.А. (1975) Метаморфогенно-гидротермальный тип промышленного золотого оруденения. Новосибирск: Наука, 144 с.
- Вревский А.Б. (2011) Архейские зеленокаменные пояса – геологические и изотопно-геохимические факты и геодинамические спекуляции. *Геология Карелии от архея до наших дней*. Петрозаводск: Ин-т геологии КарНЦ РАН, 33-36.
- Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. (2001) Нездандинское золоторудное месторождение – уникаль-

- ное месторождение Северо-Востока России. М.: ГЕОС, 230 с.
- Генкин А.Д., Лопатин В.А., Савельев Р.А., Сафонов Ю.Г., Сергеев Н.Б., Керзин А.Л., Цепин А.И., Амштутц Х., Афанасьева З.Б., Вагнер Ф., Иванова Г.Ф. (1994) Золотые руды месторождения Олимпиада (Енисейский край, Сибирь). *Геол. рудн. месторождений*, **36**(2), 111-136.
- Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. (2002) Наталкинское месторождение – золоторудный гигант России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 250 с.
- Горячев Н.А. (1998) Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 210 с.
- Горячев Н.А. (2014) Благоприятнометалльный рудогенез и мантийно-коровое взаимодействие. *Геология и геофизика*, **55**(2), 323-332.
- Государственный доклад. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 гг. (Гл. редактор Е.А. Киселев). (2018) М.: ФГБУ ВИМС, 372 с.
- Журавлев В.В. (2016) Положение шарниров складок в структуре Олимпиадинского золоторудного поля и их рудоконтролирующее значение. *Разведка и охрана недр*, (4), 21-26.
- Золоторудное месторождение Мурунтау. (1998) Ташкент: Фан, 539 с.
- Золоторудные месторождения России (Ред. М.М. Константинов). (2010) М.: Акварель, 349 с.
- Зорин Ю.А., Мазукабзов А.М., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Пресняков С.Л., Сергеев С.А. (2008) Силурийский возраст главных складчатых деформаций рифейских отложений Байкало-Патомской зоны. *Докл. АН*, **423**(2), 1-6.
- Иванов А.И. (2014) Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). М.: ФГУП ЦНИГРИ, 215 с.
- Карпенко И.А., Мигачев И.Ф., Михайлов Б.К., Петраш Н.Г. (2006) Современная геолого-экономическая оценка месторождения Сухой Лог. *Руды и металлы*, (2), 22-27.
- Кожевников В.Н. (2000) Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КарНЦРАН, 223 с.
- Коновалов И.В. (1985) Формационные условия золотой метаморфогенно-гидротермальной минерализации. Новосибирск: Наука, 97 с.
- Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. (2000). Золоторудные гиганты России и мира. М.: Науч. мир, 272 с.
- Корольков А.Т. (2007) Геодинамика золоторудных районов юга Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во Иркутск. гос. ун-та, 251 с.
- Ли Л.В. (2003) Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото-сульфидных руд (Эталонные модели рудных месторождений Сибири). Красноярск: КНИИГиМС, 120 с.
- Месторождение Наталкинское. (2006) Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Т. 3. Стратегические виды рудного сырья Востока России. Кн. 1. М.: ИГЕМ РАН, 427 с.
- Морозов Ю.А. (2002) Структурообразующая роль транспрессии и транстенсии. *Геотектоника*, (6), 3-24.
- Мухин П.А., Каримов Х.К., Савчук Ю.С. (1991) Палеозойская геодинамика Кызылкумов. Ташкент: Фан, 148 с.
- Мухин П.А., Савчук Ю.С., Колесников А.В. (1988) Положение Мурунтауской линзы в структуре метаморфических толщ Южного Тамдытау (Центральные Кызылкумы). *Геотектоника*, (2), 64-72.
- Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А. (2015) Особенности размещения и геологическая позиция крупнейших золоторудных месторождений мира. *Изв. высш. учебн. заведений. Геология и разведка*, (5), 32-39.
- Никоноров В.В. (1993) Новый тип золотого оруденения в Кыргызстане. *Геол. рудн. месторождений*, **35**(5), 450-454.
- Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М., Яблокова С.В., Арефьева В.И. (2014) Уникальное промышленное золото-сульфидное месторождение Олимпиада в верхнепротерозойских терригенных отложениях. *Руды и металлы*, (3), 47-64.
- Новожилов Ю.И., Стороженко А.А., Гаврилов А.М., Яблокова С.В., Варгунина Н.П., Шерман М.Л., Лопатин В.А., Арефьева В.И. (1986) Олимпиадинское месторождение. *Золоторудные месторождения СССР*. Т. 3. М.: ЦНИГРИ, 126-146.
- Парк Ч.Ф., Мак-Дормид Р.А. (1966) Рудные месторождения. М.: Мир, 544 с.
- Парфенов Л.М., Оксман В.С., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Третьяков Ф.Ф., Трунилина В.А., Дейкуненко А.В. (2001) Коллаж террейнов Верхояно-Кольмской орогенной области. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия)*. М.: МАИК Наука Интерпериодика, 199-255.
- Паталаха Е.И. (1985) Тектонофациальный анализ. М.: Недра, 120 с.
- Русинов В.Л., Русинова О.В., Кряжев С.Г., Щегольков Ю.В., Алышева Э.И., Борисовский С.Е. (2008) Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе. *Геол. рудн. месторождений*, **50**(1), 1-44.
- Савчук Ю.С. (1990) Субдукционно-гидротермальное рудообразование и металлогеническая зональность (на примере Кызылкумов). *Минералого-геохимические критерии поисков месторождений полезных ископаемых в рудных районах Тянь-Шаня*. Ташкент: САИ-ГИМС, 93-106.
- Савчук Ю.С., Мухин П.А. (1993) Эволюция рудных процессов в структуре аккреционной призмы Южного Тянь-Шаня (Кызылкумский геодинамический полигон). *Геотектоника*, (6), 63-81.
- Савчук Ю.С., Проценко В.Ф., Колесников А.В. (1987) Минеральные комплексы в каркасе структур Мурунтау. *Зап. Узб. отд. ВМО*. (40), Ташкент: Фан, 30-33.
- Сафонов Ю.Г., Васудев В.Н., Сринивасан Р., Чухров Ф.В. (1988) Золоторудное поле Колар (Индия). М.: Наука, 232 с.
- Соколов С.К. (1992) Рифтовые и шельфовые комплексы протерозойского Бодайбинского прогиба и закономерности размещения золотого оруденения. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИМГРЭ, 27 с.
- Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Цимбалюк Н.В. (2009) Уникальные золоторудные регионы Витватерсранд (ЮАР) и Центрально-Кольмский (Россия) – сопоставительный анализ. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, (4), 72-81.

- Хаин В.Е., Ломизе М.Г. (2005) Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 560 с.
- 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.
- Эз В.В. (1978) Структурная геология метаморфических комплексов. М.: Недра, 191 с.
- Bernasconi A. (1999) The Geology of Las Cristinas Gold Deposit – Km 88, Venezuela. *Global Tectonics and Metallogeny*, 7(2), 91-94.
- Bierlein F.P., Groves D.I., Goldfarb R.J., Dubé B. (2006) Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits. *Mineral. Depos.*, (40), 874-886.
- Blenkinsop T.G., Mumm A.S., Kumi R., Sangmor S. (1994) Structural geology of the Ashanti gold mine, Obuasi, Chana. Metallogensis of selected gold deposits in Africa. *Geol. Jajrb. D.*, 100, 679 p.
- Caddey S.W., Bachman R.L., Campbell T.J., Reid R.R., Otto R.P. (1991) The Homestake gold mine, an early Proterozoic iron-formation-hosted gold deposit, Lawrence County, South Dakota. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1857-J., 76 p.
- Dube B., Gosselin P. (2007) Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits (Ed. W.D. Goodfellow). *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral deposits Division, Special Publication*, (5), 49-73.
- Fougerouse D., Micklethwaite S., Ulrich S., Miller J., Godel B., Adams D.T., McCuaig T.C. (2017) Evidence for Two Stages of Mineralization in West Africa's Largest Gold Deposit: Obuasi, Ghana. *Econ. Geol.*, 112, 3-22.
- Goldfarb R.J., Ayuso R., Miller M.L., Ebert S.W., Marsh E.E., Petsel S.A., Miller L.D., Bradley D., Johnson C., McClelland W. (2004) The Late Cretaceous Donlin Creek Gold Deposit, Southwestern Alaska: Controls on Epizonal Ore Formation. *Econ. Geol.*, 99(4), 643-671.
- Goldfarb R.J., Santosh M. (2014) The dilemma of the Jiaodong gold deposits: are they unique? *Geosci. Front.*, (5), 139-153.
- Goldfarb R.J., Taylor R.D., Collins G.S., Goryachev N.A., Orlandini O.F. (2014) Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia. *Gondw. Res.*, 25, 48-102.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. (1998) Orogenic gold deposits – a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geol. Rev.*, 13, 7-27.
- 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.
- Groves D.I., Santosh M. (2016) The giant Jiaodong gold province: The key to a unified model for orogenic gold deposits? *Geosci. Front.*, (7), 409-417.
- Harbidge P. (2013) The Giant Kibali gold deposit. *Randgold Resources. New Gengold Conf. Pan Pacifik Perth.*, 57-68.
- Kenyon M. (1998) Review of the Bulyanhulu gold deposit, Tanzania. *Pathways '98*, 41-43.
- Krogstad E.J., Balakrishnan S., Mukhopadhyay D.K., Rajamani V., Hanson G.N. (1989) Plate Tectonics. 2.5 billion years ago: Evidence at Kolar, South India. A report. *Science*, 243, 1337-1340.
- Laznicka P. (2006) Giant Metallic Deposit. Springer, 746 p.
- Morelli R.M., Bell C.C., Creaser R.A., Simonetti A. (2010) Constraints on the genesis of gold mineralization at the Homestake Gold Deposit, Black Hills, South Dakota from rhenium–osmium sulfide geochronology. *Mineral. Depos.*, 45, 461-480.
- Noble J.A. (1950) Ore mineralization in the Homestake gold mine, Lead, South Dakota. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 61(3), 221-252.
- Phillips G.N., Groves D.I., Kerrich R. (1996) Factors in the formation of the giant Kalgoorlie gold deposit. *Ore Geol. Rev.*, (10), 295-317.
- Robert F., Poulsen K.H. (1997) World-class Archaean gold deposits in Canada: An overview, *Austral. J. Earth Sci.*, 44(3), 329-351.
- Sharpe E.N., Mac'Geehan P.J. (1990) Bendigo Gold-field. *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea*. Ed. F.E. Hughes, 2, 1287-1296.
- Siva Siddaiah N., Rajamani V. (1989) The Geologic Setting, Mineralogy, Geochemistry, and Genesis of Gold Deposits of the Archean Kolar Schist Belt, India. *Econ. Geol.*, 84, 2155-2172.
- Vielreicher N.M., Groves D.I., McNaughton N.J. (2016) The giant Kalgoorlie Gold Field revisited. *Geosci. Front.*, (7), 359-374.

## REFERENCES

- Ez V.V. (1978) *Strukturnaya geologiya metamorficheskikh kompleksov* [Structural geology of metamorphic complexes]. Moscow, Nedra Publ., 191 p. (In Russian)
- Fougerouse D., Micklethwaite S., Ulrich S., Miller J., Godel B., Adams D.T., McCuaig T.C. (2017) Evidence for Two Stages of Mineralization in West Africa's Largest Gold Deposit: Obuasi, Ghana. *Econ. Geol.*, (112), 3-22.
- Gamyani G.N., Bortnikov N.S., Alpatov V.V. (2001) *Nezhdaninskoe zolotorudnoe mestorozhdenie – unikal'noe mestorozhdenie Severo-Vostoka Rossii* [Nezhdaninskoye gold deposit is a unique deposit in the North-East of Russia]. Moscow, GEOS Publ., 230 p. (In Russian)
- Genkin A.D., Lopatin V.A., Savel'ev R.A., Safonov Yu.G., Sergeev N.B., Kerzin A.L., Tsepin A.I., Amshutts KH., Afanas'eva Z.B., Vagner F., Ivanova G.F. (1994) Gold ores of the Olympiada deposit (Yenisei Ridge, Siberia). *Geol. Rudn. Mestorozhdenii*, **36**(2), 111-136. (In Russian)
- Goldfarb R.J., Ayuso R., Miller M.L., Ebert S.W., Marsh E.E., Petsel S.A., Miller L.D., Bradley D., Johnson C., McClelland W. (2004) The Late Cretaceous Donlin Creek Gold Deposit, Southwestern Alaska: Controls on Epizonal Ore Formation. *Econ. Geol.*, **99**(4), 643-671.
- Goldfarb R.J., Santosh M. (2014) The dilemma of the Jiaodong gold deposits: are they unique? *Geosci. Front.*, (5), 139-153.
- Goldfarb R.J., Taylor R.D., Collins G.S., Goryachev N.A., Orlandini O.F. (2014) Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia. *Gondw. Res.*, (25), 48-102.
- Goncharov V.I., Voroshin S.V., Sidorov V.A. (2002) *Natalkinskoe mestorozhdenie – zolotorudnyi gigant Rossii* [Natalka deposit – Russia's gold giant]. Magadan, SVKNII DVO RAN Publ., 250 p. (In Russian)
- Goryachev N.A. (1998) *Geologiya mezozoiskikh zoloto-kvartsevykh zil'nykh poyasov Severo-Vostoka Azii* [Geology of Mesozoic gold-quartz vein zones of North-East Asia]. Magadan, SVKNII DVO RAN, 210 p. (In Russian)
- Goryachev N.A. (2014) Noble metal ore genesis and mantle-crust interaction. *Geol. Geofiz.*, **55**(2), 323-332. (In Russian)
- Gosudarstvennyi doklad. O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2016 i 2017 godakh. (Gl. redaktor Ye.A. Kiselev)* [State report. On the status and use of mineral resources of the Russian Federation in 2016 and 2017. (Ch. editor E.A. Kiselev)]. (2018) Moscow, FBGU VIMS Publ., 372 p.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. (1998) Orogenic gold deposits – a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geol. Rev.*, (13), 7-27.
- 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.
- Groves D.I., Santosh M. (2016) The giant Jiaodong gold province: The key to a unified model for orogenic gold deposits? *Geosci. Front.*, (7), 409-417.
- Harbidge P. (2013) The Giant Kibali gold deposit. *Randgold Resources. New Gengold Conf. Pan Pacifik Perth.*, 57-68.
- Ivanov A.I. (2014) *Zoloto Baikalo-Patoma (geologiya, orudnenie, perspektivy)* [Baikal-Patom gold (geology, mineralization, prospects)]. Moscow, FGUP TSNIGRI Publ., 215 p. (In Russian)
- Karpenko I.A., Migachev I.F., Mikhailov B.K., Petrash N.G. (2006) [Modern geological and economic assessment of the Sukhoi Log deposit]. *Rudy i metally*, (2), 22-27. (In Russian)
- Kenyon M. (1998) Review of the Bulyanhulu gold deposit, Tanzania. *Pathways '98*, 41-43.
- Khain V.E., Lomize M.G. (2005) *Geotektonika s osnovami geodinamiki* [Geotectonics with the basics of Geodynamics]. Moscow, KDU Publ., 560 p. (In Russian)
- Kononov I.V. (1985) *Formatsionnye usloviya zolotoi metamorfogenno-gidrotermal'noi mineralizatsii* [Formational conditions of gold metamorphic-hydrothermal mineralization]. Novosibirsk, Nauka Publ., 97 p. (In Russian)
- Konstantinov M.M., Nekrasov Ye.M., Sidorov A.A., Struzhkov S.F. (2000) *Zolotorudnye giganty Rossii i mira* [Gold giants of Russia and the world]. Moscow, Nauch. Mir Publ., 272 p. (In Russian)
- Korol'kov A.T. (2007) *Geodinamika zolotorudnykh raionov yuga Vostochnoi Sibiri* [Geodynamics of gold ore regions of the south of Eastern Siberia]. Irkutsk, Publishing house Irkutsk St. Univ., 251 p. (In Russian)
- Kozhevnikov V.N. (2000) *Arkheiskie zelenokamennye poyasa Karel'skogo kratona kak akkretionnye orogeny* [Archean greenstone belts of the Karelian craton as accretionary orogens]. Petrozavodsk, Kar NTs RAN, 223 p. (In Russian)
- Krogstad E.J., Balakrishnan S., Mukhopadhyay D.K., Rajamani V., Hanson G.N. (1989) Plate Tectonics. 2.5 billion years ago: Evidence at Kolar, South India. A report. *Science*, (243), 1337-1340.
- Laznicka P. (2006) *Giant Metallic Deposit*. Springer, 746 p.
- Li L.V. (2003) *Olimpiadinskie mestorozhdenie vkraplenykh zoloto-sul'fidnykh rud (Etalonnye modeli rudnykh mestorozhdenii Sibiri)* [Olimpiada deposit of disseminated gold-sulfide ores (Reference models of Siberian ore deposits)]. Krasnoyarsk, KNIIGIMS Publ., 120 p. (In Russian)
- Mestorozhdenie Natalkinskoe. Krupnye i superkrupnye mestorozhdeniya rudnykh poleznykh iskopaemykh. T. 3. Strategicheskie vidy rudnogo syr'ya Vostoka Rossii. Kn. 1* [Natalka deposit. Large and super-large deposits of ore minerals. V. 3. Strategic types of ore raw materials of the East of Russia. Book 1]. (2006) Moscow, IGEM RAN, 427 p. (In Russian)
- Morelli R.M., Bell C.C., Creaser R.A., Simonetti A. (2010) Constraints on the genesis of gold mineralization at the Homestake Gold Deposit, Black Hills, South Dakota from rhenium-osmium sulfide geochronology. *Mineral. Depos.*, (45), 461-480.
- Morozov Yu.A. (2002) Structural role of transpression and transtension. *Geotektonika*, (6), 3-24. (In Russian)
- Mukhin P.A., Karimov Kh.K., Savchuk Yu.S. (1991) *Paleozoiskaya geodinamika Kyzylkumov* [Paleozoic geodynamics of Kyzylkum]. Tashkent, Fan Publ., 148 p. (In Russian)
- Mukhin P.A., Savchuk Yu.S., Kolesnikov A.V. (1988) The position of the Muruntau lens in the structure of metamorphic strata of South Tamdytau (Central Kyzylkum). *Geotektonika*, (2), 64-72. (In Russian)
- Nekrasov E.M., Dorozhkina L.A. (2015) Peculiarities of location and geological position of the largest gold ore de-

- posits in the world. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geologiya i razvedka*, (5), 32-39. (In Russian)
- Nikonov V.V. (1993) A new type of gold mineralization in Kyrgyzstan. *Geol. Rudn. Mestorozhdenii*, **35**(5), 450-454. (In Russian)
- Noble J.A. (1950) Ore mineralization in the Homestake gold mine, Lead, South Dakota. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **61**(3), 221-252.
- Novozhilov Yu.I., Gavrilov A.M., Yablokova S.V., Aref'eva V.I. (2014) Olympiadinskoe unique industrial gold-sulfide deposit in the Upper Proterozoic terrigenous deposits. *Rudy i metally*, (3), 47-64. (In Russian)
- Novozhilov Yu.I., Storozhenko A.A., Gavrilov A.M., Yablokova S. V., Vargunin N.P., Sherman M.L., Lopatin V.A., Aref'eva V.I. (1986) Olimpiada deposit. *Zolotorudnye mestorozhdeniya SSSR. T. 3* [Gold deposits of the USSR. V. 3]. Moscow, TSNIIGRI Publ., 126-146. (In Russian)
- Parfenov L.M. (2001) Tectonic evolution Earth crust of Yakutiya in the context of geodynam of north of Pacific Ocean framing and metallogenic belts. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)]. Moscow, MAIK Nauka Interperiodika Publ., 499-512.
- Parfenov L.M., Oksman V.S., Prokop'ev A.V., Timofeev V.F., Tret'yakov F.F., Trunilina V.A., Deikunenko A.V. (2001) Collage of terranes of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)]. Moscow, MAIK Nauka Interperiodika Publ., 199-255. (In Russian)
- Patalakha E.I. (1985) *Tektonofatsial'nyi analiz* [Tectonofacial analysis]. Moscow, Nedra Publ., 120 p. (In Russian)
- Park Ch.F., Mak-Dormid R.A. (1966) *Rudnye mestorozhdeniya* [Ore deposits]. Moscow, Mir Publ., 544 p. (In Russian)
- Phillips G.N., Groves D.I., Kerrich R. (1996) Factors in the formation of the giant Kalgoorlie gold deposit. *Ore Geol. Rev.*, (10), 295-317.
- Robert F., Poulsen K.H. (1997) World-class Archean gold deposits in Canada: An overview, *Austral. J. Earth Sci.*, **44**(3), 329-351.
- Rusinov V.L., Rusinova O.V., Kryazhev S.G., Shchegol'kov Yu.V., Alysheva E.I., Borisovskii S.E. (2008) Near-ore metasomatism of terrigenous carbonaceous rocks in the Lena gold ore district. *Geol. Rudn. Mestorozhdenii*, **50**(1), 1-44. (In Russian)
- Savchuk Yu.S. (1990) Subduction-hydrothermal ore formation and metallogenic zonation (on the example of Kyzylkum). *Mineralogo-geokhimicheskie kriterii poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopayemykh v rudnykh raionakh Tyan'-Shanya* [Mineralogical and geochemical criteria for the search for mineral deposits in the ore regions of the Tien Shan]. Tashkent, SAIGIMS Publ., 93-106. (In Russian)
- Savchuk Yu.S., Mukhin P.A. (1993) The evolution of ore processes in the structure of the accretionary prism of the Southern Tien Shan (Kyzylkum geodynamic test site). *Geotektonika*, (6), 63-81. (In Russian)
- Savchuk Yu.S., Protsenko V.F., Kolesnikov A.V. (1987) Mineral complexes in the framework of Muruntau structures. *Zap. Uzb. otd. VMO*, **40**. Tashkent, Fan Publ., 30-33. (In Russian)
- Safonov Yu.G., Vasudev V.N., Srinivasan R., Chukhrov F.V. (1988) *Zolotorudnoye pole Kolar (Indiya)* [Kolar gold field (India)]. Moscow, Nauka Publ., 232 p. (In Russian)
- Shakhtyrov V.G. (1997) Tenkin deep fault: tectonic position, infrastructure, orebearing. *Geologicheskoe stroenie, magmatizm i poleznye iskopayemye Severo-Vostochnoi Azii* [Geological structure, magmatism and minerals of Northeast Asia]. Magadan, SVKNII DVO RAN Publ., 62-64. (In Russian)
- Sharpe E.N., Mac'Geehan P.J. (1990) Bendigo Gold-field. *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea* (Ed. F.E. Hughes), (2), 1287-1296.
- Siva Siddaiah N., Rajamani V. (1989) The Geologic Setting, Mineralogy, Geochemistry, and Genesis of Gold Deposits of the Archean Kolar Schist Belt, India. *Econ. Geol.*, (84), 2155-2172.
- Sokolov S.K. (1992) *Riftovye i shel'fovye komplekсы proterozoiskogo Bodaibinskogo progiba i zakonmernosti razmeshcheniya zolotogo orudneniya*. Diss. ... kand. geol.-min. nauk [Rift and shelf complexes of the Proterozoic Bodaibo deflection and patterns of placement of gold mineralization. Cand. geol. and min. sci. dis.]. Moscow, IMGRE Publ., 27 p. (In Russian)
- Struzhkov S.F., Natalenko M.V., Tsimbalyuk N.V. (2009) Unique gold ore regions of Witwatersrand (South Africa) and Central Kolyma (Russia) – comparative analysis. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, (4), 72-81. (In Russian)
- Vielreicher N.M., Groves D.I., McNaughton N.J. (2016) The giant Kalgoorlie Gold Field revisited. *Geosci. Front.*, (7), 359-374.
- Vrevskii A.B. (2011) Archean greenstone belts – geological and isotope geochemical facts and geodynamic speculations. *Geologiya Karelii ot arkheya do nashikh dnei* [Geology of Karelia from Archean to the present]. Petrozavodsk, Institute of Geology Publ., KarNTs RAN, 33-36. (In Russian)
- Zhuravlev V.V. (2016) The position of the fold joints in the structure of the Olympiadinskoe gold ore field and their ore-controlling importance. *Razvedka i okhrana nedr*, (4), 21-26. (In Russian)
- Zolotorudnoe mestorozhdenie Muruntau* [Gold ore deposit Muruntau]. (1998) Tashkent, Fan Publ., 539 p. (In Russian)
- Zolotorudnye mestorozhdeniya Rossii* [Gold ore deposits of Russia]. (2010) (Ed. M.M. Konstantinov). Moscow, Akvarel' Publ., 349 p. (In Russian)
- Zorin Yu.A., Mazukabzov A.M., Gladkochub D.P., Don-skaya T.V., Presnyakov S.L., Sergeev S.A. (2008) Silurian age of the main folded deformations of the Riphean deposits of the Baikal-Patom zone. *Dokl. Akad. Nauk*, **423**(2), 1-6. (In Russian)