

УДК 553.411:551.24 (575.1+571.65)

DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-3-349-364

## Структурно-динамические условия формирования крупных орогенных месторождений золота Центральной и Северо-Восточной Азии

Ю. С. Савчук, А. В. Волков, В. В. Аристов

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

Поступила в редакцию 25.08.2020 г., принята к печати 24.11.2020 г.

**Объект исследования.** Крупные орогенные месторождения золота в складчатых поясах Центральной и Северо-Восточной Азии. **Материалы и методы.** Геологическое картирование различных масштабов на нескольких крупных орогенных месторождениях золота с применением методик структурно-парагенетического анализа метаморфических толщ с обязательной привязкой проявлений рудной минерализации к конкретным структурам, в ряде случаев с использованием статистических методов для геометризации оруденения, выявления закономерностей его размещения и определения трасс палеофлюидопотоков. Анализ многочисленной литературы по геолого-структурным особенностям крупных орогенных золоторудных месторождений: Мурунтау, Кокпатас, Сухой Лог, Павлик. **Результаты.** Месторождения Мурунтау, Кокпатас и Сухой Лог отнесены к шарьяжно-надвиговому типу. В отличие от них месторождение Павлик приурочено к зоне объемной трещиноватости между серией взбросо-сдвигов, оперяющих крупный глубинный разлом, и относится к транспрессионному типу. На месторождениях Мурунтау и Павлик обоснованы трассы палеофлюидопотоков, вдоль которых происходила миграция гидротерм и рудообразование. **Выводы.** Показано, что распределение рудной минерализации месторождения Мурунтау подчиняется ориентировке плоскостных (кливаж) и линейных (ориентировка шарниров складок) элементов. По-видимому, первое (основное) направление может указывать на ориентировку и положение главного пути миграции рудоносных гидротерм, а второе – соответствует второстепенным каналам, положение которых обусловлено пересечением синшарьяжных структур с благоприятными литологическими горизонтами. Для месторождения Павлик положение рудных столбов сопоставлено с трассами палеофлюидопотоков, корневые части которых перспективны на выявление наиболее мощного и интенсивного оруденения.

**Ключевые слова:** складчатый пояс, структура, месторождение, золото, шарьяж, надвиг, транспрессия, трассы палеофлюидопотоков

### Источник финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке темы госзадания ИГЕМ РАН “Металлогения рудных районов вулканоплутогенных и складчатых орогенных поясов Северо-Востока России”

## Structural and dynamic conditions for the formation of large orogenic gold deposits in Central and Northeast Asia

Yuriy S. Savchuk, Aleksandr V. Volkov, Vasilii V. Aristov

Institute of Ore Deposit Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) of the Russian Academy of Sciences, 35 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russia, e-mails: yurasavchuk@yandex.ru, alexandr@igem.ru, rstvvv@yandex.ru

Received 25.08.2020, accepted 24.11.2020

**Research subject.** Large orogenic gold deposits in the fold belts of Central and Northeast Asia. **Materials and methods.** Geological mapping of various scales on a number of large orogenic gold deposits was conducted using the methods of structural-paragenetic analysis of metamorphic strata, accompanied by obligatory linking of ore mineralization manifestations to specific structures. In a number of cases, various statistical methods were used to geometrize mineralization, identify patterns of its location and determine the paths of paleofluid flows. Available publications on the objects under consideration were reviewed. The geological and structural features of large orogenic gold deposits – Muruntau, Kokpatas, Sukhoi Log and Pavlik – were considered. **Results.** The Muruntau, Kokpatas and the Sukhoi Log ore deposits

**Для цитирования:** Савчук Ю.С., Волков А.В., Аристов В.В. (2021) Структурно-динамические условия формирования крупных орогенных месторождений золота Центральной и Северо-Восточной Азии. *Литосфера*, 21(3), 349–364. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-3-349-364

**For citation:** Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Aristov V.V. (2021) Structural and dynamic conditions for the formation of large orogenic gold deposits in Central and Northeast Asia. *Litosfera*, 21(3), 349–364. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-3-349-364

are of shariyage-thrust type. Compared to these objects, the Pavlik field is confined to a zone of volumetric fracturing between a series of reverse faults, feathering a large deep fault and belonging to the transpression type. At the Muruntau and Pavlik deposits, the analysis of the location of the most intensive mineralization substantiated the paths of paleofluid flows, along which the fluid migration and ore formation took place. *Conclusions.* The distribution of ore mineralization in the Muruntau deposit obeys the orientation of planar (cleavage) and linear (orientation of fold hinges) elements. Apparently, the former (main) direction may indicate the orientation and position of the main migration route of ore-bearing fluids, while the latter corresponds to secondary channels, the position of which is due to the intersection of syn-napping structures with favourable lithological horizons. For the Pavlik deposit, the position of ore pillars is compared with the paths of paleofluid flows, the root parts of which are promising for identifying the most powerful and intense mineralization.

**Keywords:** *folded belt, structure, deposit, gold, shariyage, thrust, transpression, paths of paleofluid flows*

#### Funding information

*The work was financially supported by the program state assignments of IGEM RAS "Metallogeny of ore regions of volcanoplutonic and folded orogenic belts in the North-East of Russia"*

## ВВЕДЕНИЕ

Орогенные месторождения золота (ОМЗ) распространены на всех континентах (Groves et al., 1998, 2016; Goldfarb et al., 1998), имеют различный возраст (Goldfarb et al., 2001; Goldfarb, Groves, 2015) и приурочены к зеленокаменным и складчатым поясам, разделяющим разномасштабные континентальные массивы. Наблюдаются значительные вариации структурных обстановок, составов вмещающих пород, руд и других геологических характеристик ОМЗ. Объекты в складчатых поясах традиционно относят к месторождениям золота черносланцевого типа (Буряк, 1987; Кряжев, 2017), как, например, Мурунтау, Кокпатас (Узбекистан), Бакырчик (Казахстан), Кумтор (Киргизия), Сухой Лог, Неждановское, Наталка, Павлик (Россия); в то же время ряд других крупных месторождений ассоциируют с гранитоидами (Рудные..., 2001; Бортников и др., 1996) – Чармитан (Узбекистан), Васильковское (Казахстан), Березовское (Россия) и др. Морфология рудных образований также разнообразна: от крутопадающих плитообразных тел и жил до наклонных и пологих соскладчатых залежей.

Эти факты свидетельствуют о неоднородности большой группы орогенных месторождений в складчатых поясах и необходимости выделения и характеристики отдельных типовых объектов по различным признакам. Так, Д.И. Гровс (Groves et al., 1998) разделил орогенные месторождения по глубине образования и составу: на эпизональные (<6 км, Au-Sb), мезозональные (6–12 км, Au-As-Te) и гипозональные (>12 км, Au-As). Этот ряд явно неполный – в нем отсутствуют золото-кварцевые, практически бессульфидные руды; кроме того, длительное тектоническое развитие предполагает смену рудоконтролирующих структур и, соответственно, изменение морфологии рудных залежей.

Так, иногда подчеркивается важнейшая роль структур и шовных зон различного порядка в пространственной упорядоченности золоторудных объектов (Дьячков и др., 2011), либо основная рудоконтролирующая роль отводится региональным сдвиговым зонам (Горячев, 1998).

В предыдущей статье (Савчук, Волков, 2019) по приуроченности рудной минерализации к структурам определенных геодинамических стадий мы выделили субдукционный, субдукционно-коллизийный и коллизийно-транспрессионный типы. Цель настоящей статьи – показать основные особенности ОМЗ разных типов, характерные для сменяющих друг друга во времени структур шарьяжно-надвиговой и транспрессионной обстановок, что может быть использовано в прогнозно-металлогенических построениях. Необходимость такого разделения определяется дифференцированным подходом к металлогеническим построениям и поисково-разведочному процессу. Одна из целей статьи – подчеркнуть значение специализированных геолого-структурных исследований для направления геологоразведочных работ.

## МЕТОДИКА

В основу работы легли собственные исследования авторов на ряде крупных месторождений золота в западной части Южного Тянь-Шаня, южного (Байкало-Патомский пояс) и восточного (Верхояно-Колымский пояс) обрамления Сибирской платформы. Эти исследования включали: геологическое картирование различных масштабов с применением методик структурно-парагенетического анализа метаморфических 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 и определения трасс палеофлюидопотоков. Разумеется, проводился анализ многочисленной литературы по рассматриваемым объектам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Месторождения **Мурунтау** и **Кокпатас** расположены в Кызылкуме, среди небольших выходов домезозойского складчатого основания Южного Тянь-Шаня (рис. 1). Основные этапы геодинамической эволюции западной части этого каледоно-герцинского складчатого пояса рассмотрены в работах (Бискэ, 1996; Буртман, 2006; Мухин и др., 1991). Отличительной особенностью Кызылкумского сегмента пояса является присутствие в его нижней части Тасказган-Бесапанского метаморфического комплекса, образовавшегося в конце силура. В составе комплекса выделяются два аллохтона, фактически два типа разреза – окраинно-континентальный и внутриокеанический, разделенные швом шарьяжа (Мухин и др., 1988). Верхний аллохтон сложен преимущественно метатерригенными образованиями верхнего кембрия–нижнего силура, отлагавшимися на континентальном склоне и подножье. Нижний аллохтон представлен метавулканогенно-сланцево-карбонатно-кремнистой формацией верхнего рифея (Миркамалов и др., 2012), перекрытой метатерригенными породами с возрастом от венда (?) до силура, интерпретируемые как метаморфизованные чешуи верхней части коры океанического типа.

К зоне каледонского шарьяжа между двумя этими аллохтонами приурочено тектоническое тело “Мурунтауской линзы” (Мухин и др., 1988). В составе линзы значительную долю составляет тонкое переслаивание углеродистых алевролитов и сланцев (Савчук, 1987), что отличает ее от выше- и нижележащих подразделений. Это тело имеет мощность до 1 км и значительно тектонизировано (стреловидные складки, интенсивный кливаж, несколько швов вязких разрывов – зон сгущения кливажа). Гигантский золото-кварцевый штокверк месторождения Мурунтау располагается внутри Мурунтауской линзы, а его отдельные элементы подчиняются шарьяжно-кливажным и складчатым структурам (Золоторудное месторождение ..., 1998; Савчук и др., 2018а).

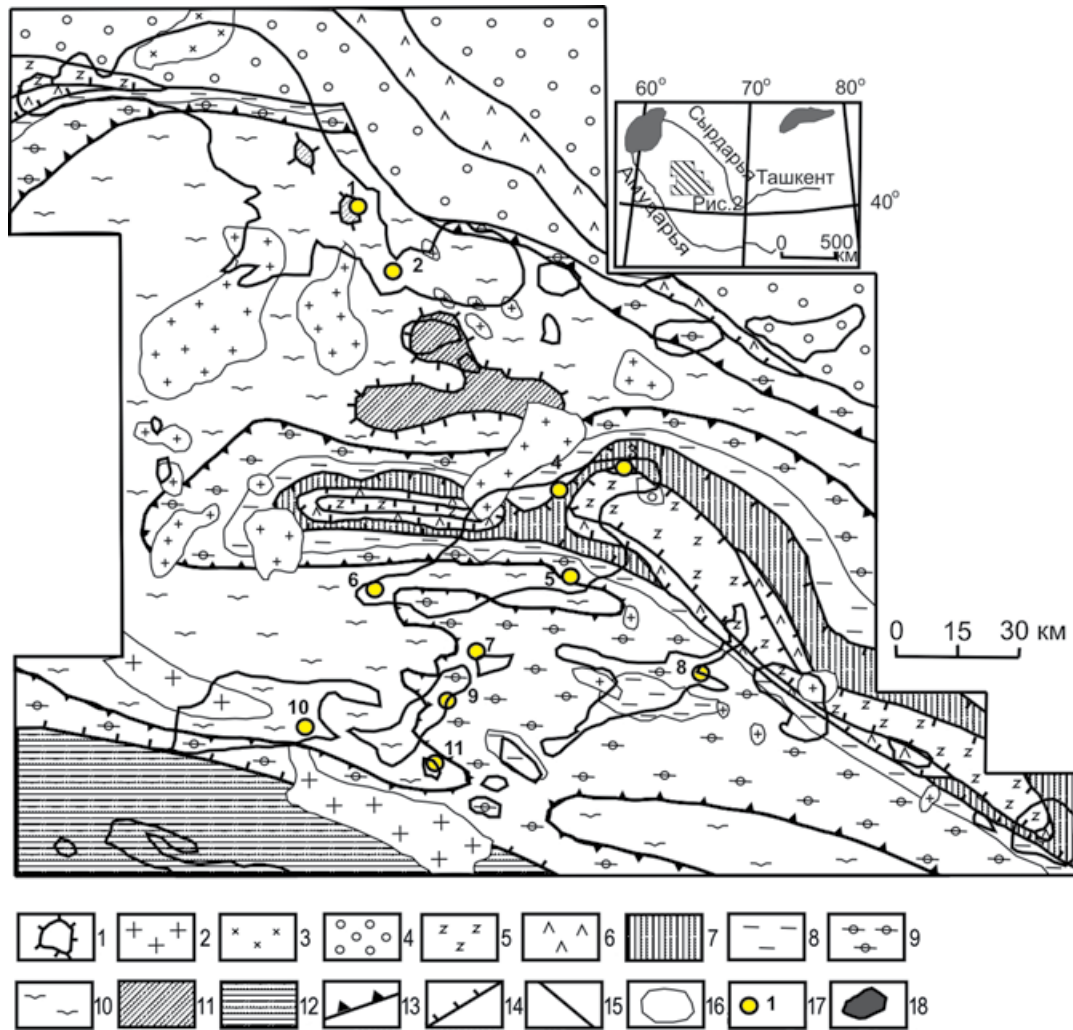
Показательными являются изгибы как отдельных золотоносных субсогласных кварцевых прожилков и слюдисто-калишпат-кварцевых метасоматитов, так и более мощных оруденелых пачек и прослоев в лежачие и наклонные сильно сжатые складки (центр и восточный фланг месторождения). Также широко развиты мощные, протяжен-

ные жильные тела в вязких разрывах (юго-восточный фланг). Эти складчатые и разрывные структуры контролируют ранние элементы штокверка, определяющие его размеры и субсогласную форму. К осложняющим элементам относятся крутопадающие жильно-метасоматические проявления, порой высокородоносные (центр карьера), с которыми на ранних этапах разведки связывался основной потенциал месторождения. Позже разведочные работы и особенно результаты бурения глубоких скважин-спутников (МС-1, МС-2 и МС-3) заставили пересмотреть эти представления и признать пластовую форму Главной рудоносной залежи Мурунтау (Образцов, 2009).

В Кызылкуме также разведано несколько месторождений и перспективных проявлений, локализованных в самих швах герцинских шарьяжей, либо вблизи них – Кокпатас, Балпан, Тамдыбулак. Наиболее крупное из них – месторождение Кокпатас – расположено в тектоническом окне пологой шарьяжной зоны (см. рис. 1), разделяющей герцинские аллохтонные комплексы (Буртман, 1973; Мухин и др., 1991). Золоторудная минерализация располагается на крыльях пологой Кокпатасской антиклинали (рис. 2а), осложненной многочисленными разрывными нарушениями и зонами смятия (Рудные месторождения..., 2001). Ядро антиклинали сложено девон-нижнекаменноугольными известняками, а крылья – меланжированной толщей, состоящей из различных терригенных, вулканогенных и метавулканогенно-терригенных блоков, разделенных пологими тектоническими зонами. Встречаются небольшие чешуи серпентинизированных ультраосновных пород. Эта толща подстилает аллохтон, представленный рифейскими карбонатно-кремнистыми породами. На юго-западе участка частично обнажается монцодиорит-гранодиоритовый массив.

Золоторудные залежи в поднадвиговом меланже представляют собой пласто- и линзообразные тела с раздувами и пережимами как по простиранию, так и по падению, разделенные прослоями и участками пустых пород и рассеченные многочисленными безрудными дайками (рис. 2б). Длина наиболее крупных рудных залежей достигает 1600 м, ширина – 200–300 м, они прослеживаются по падению на глубину до 120 м. Рудные тела в основном пологого (до 45°), реже крутого падения (Рудные месторождения ..., 2001).

Основу руд составляет прожилково-вкрапленная золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация с субдисперсным золотом в сульфидах, количество которых доходит до 10–15% (Атлас..., 2010). Поздние разрывные нарушения вмещают в себя дайки и кварцевые жилы с полисульфидно-серебряной и антимонитовой минерализацией, преимущественно локализуемой в пределах карбонатной толщи.

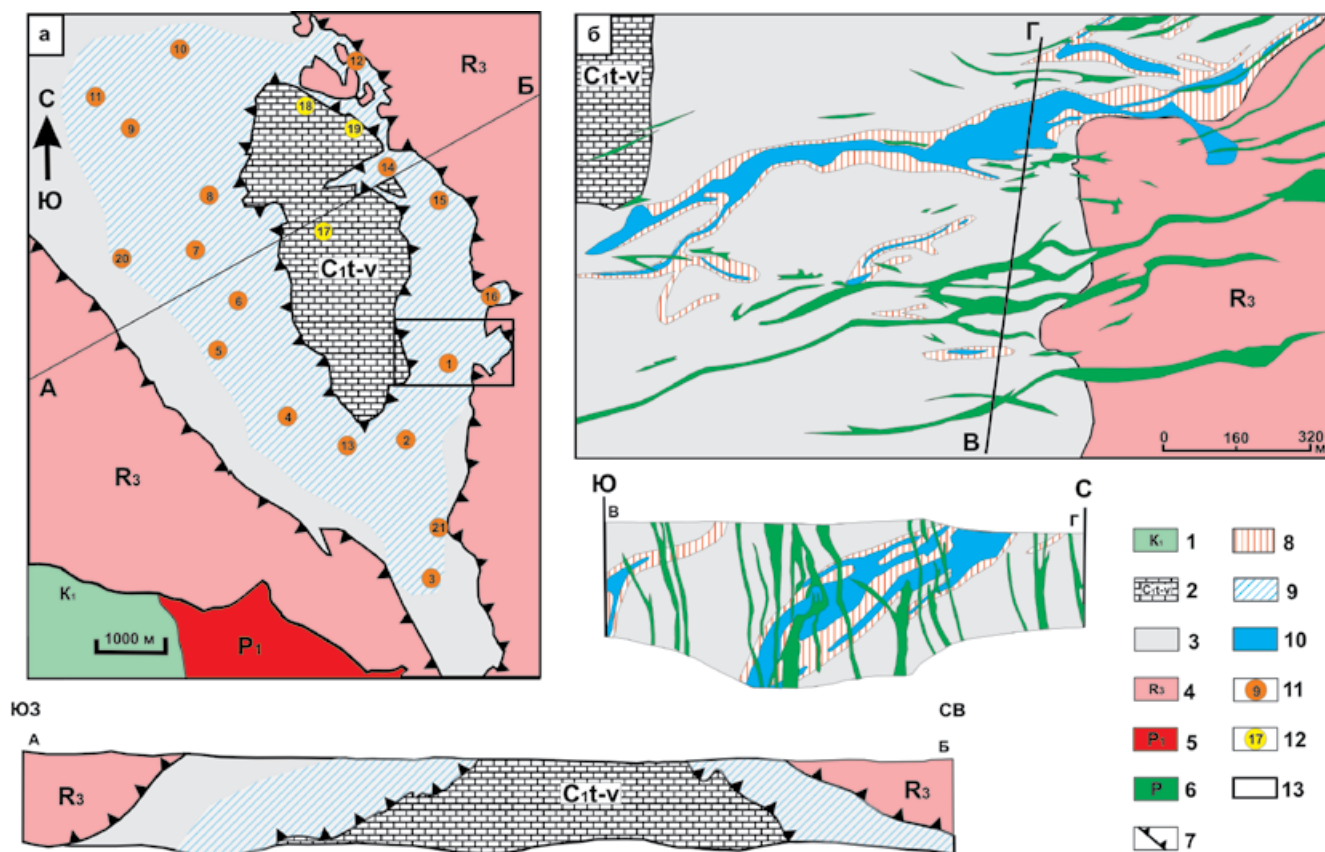


**Рис. 1.** Структурно-формационная схема Кызылкума со снятыми мезозойско-кайнозойскими отложениями.

1 – контур выходов домезозойского складчатого основания; 2, 3 – герцинские гранитоидные массивы: 2 – Нуратинской (S-тип) и 3 – Бокалинской (I-тип) серий; 4 – молассовые отложения неавтохтона; 5–11 – герцинские структурно-вещественные комплексы Южно-Тянь-Шанской аккреционной призмы (сверху вниз): 5 – метаморфические сланцы комплекса Тамды, 6 – офиолиты комплекса Кулдук, 7 – терригенно-карбонатные отложения комплекса Букан, 8–10 – комплекс Мурун (8 – карбонатно-терригенно-olistostromовые отложения; 9, 10 – Тасказган-Беспанская аккреционная призма: 9 – терригенные отложения аллохтона Косманачи, 10 – кремнисто-вулканогенные породы аллохтона Тасказган), 11 – карбонатно-терригенно-olistostromовые отложения комплекса Кокпатас; 12 – терригенно-карбонатные отложения комплекса Кульджук; 13, 14 – швы: 13 – каледонского и 14 – герцинских шарьяжей; 15 – крутопадающие разломы; 16 – геологические границы; 17 – золоторудные месторождения (в зонах крупных шарьяжей герцинского и каледонского времени: 1 – Кокпатас, 3 – Балпан, 4 – Тамдыбулак, 5 – Мурунтау и транспрессионных сдвигах: 2 – Турбай, 6 – Ясвай, 7 – Амантай, 8 – Аристан, 9 – Даугыз, 10 – Аджибугут, 11 – Колчик); 18 – на врезке затушеваны Аральское море и оз. Иссык-Куль.

**Fig. 1.** Structural and formational scheme of Kyzylkum without Mesozoic-Cenozoic deposits.

1 – contour of the outcrops of the Pre-Mesozoic folded base; 2, 3 – Hercynian granitoid massifs: 2 – Nuratinskaii (S-type) and 3 – Bokalinskaii (I-type); 4 – molass neoautochthon deposits; 5–11 – Hercynian structural-material complexes of the South Tien Shan accretion prism (from top to bottom): 5 – metamorphic shales of the Tamda complex, 6 – ophiolites of the Kulkuduk complex, 7 – terrigenous – carbonate deposits of the Bukan complex, 8–10 – Murun complex (8 – carbonate-terrigenous-olistostrom deposits; 9, 10 – Taskazgan-Besapan accretion prism: 9 – allochthonous terrigenous deposits Kosmanachi, 10 – siliceous – volcanogenic rocks of allochthon Taskazgan, 11 – carbonate-terrigenous – olistostromic deposits of the Kokpatas complex; 12 – terrigenous-carbonate deposits of the Kuldzhuk complex; 13, 14 – sutures: 13 – Caledonian and 14 – Hercynian sharrriages; 15 – steeply falling faults; 16 – geological boundaries; 17 – gold deposits (in the zones of large sharrriages of the Hercynian and Caledonian time); 18 – the Aral Sea and Lake Issyk-Kul are shaded on the inset.



**Рис. 2.** Геологическая карта Кокпатасского рудного поля (а) и геологическая карта участка Южный (б), по (Атлас..., 2010) с упрощениями.

1 – меловые отложения; 2 – отложения карбона: известняки, доломиты, горизонты бокситов; 3 – карашакская толща: тектонический меланж туфопесчаников, туфобрекчий, туфоалевролитов, тела гипербазитов; 4 – кокпатасская свита: карбонатно-кремнистые породы, сланцы слюдисто-кремнистые, metabазальты; 5 – гранодиориты, адамеллиты; 6 – габбро-сиенит-граносиенитовый дайковый комплекс; 7 – надвиги; 8 – метасоматически измененные породы; 9 – обобщенная площадь развития золоторудной минерализации; 10 – золоторудные тела; 11 – золоторудные участки; 12 – серебруродные участки; 13 – участок Южный.

**Fig. 2.** Geological map of the Kokpatassky ore field (a) and geological map of the Yuzhnyi site (b), according to (Atlas..., 2010) with simplifications.

1 – Cretaceous deposits; 2 – Carboniferous deposits: limestones, dolomites, bauxite horizons; 3 – Karashakh strata: tectonic melange of tuff sandstones, tuff breccias, tuff aleurolites, hyperbasite bodies; 4 – Kokpatas formation: carbonate-siliceous rocks, mica-siliceous shales, metabasalts; 5 – granodiorites, adamellites; 6 – gabbro-syenite-granosyenite dike complex; 7 – thrusts; 8 – metasomatically altered rocks; 9 – generalized area of development of gold mineralization; 10 – gold ore bodies; 11 – gold ore sites; 12 – silver ore sites; 13 – the Southern section.

Структурными исследованиями на ведущих золотых месторождениях Кызылкума обособлена многочисленная группа объектов, имеющих общие черты строения, – **Турбай, Ясвай, Амантай, Аристан, Даугыз, Аджибугут, Колчик** (Миркамалов, Савчук, 2007). Это, прежде всего, приуроченность к крупным тектоническим нарушениям, для которых характерны: серии сближенных параллельных швов с крутыми углами падения, сравнительно большая мощность нарушения (десяtkи–первые сотни метров), их значительная протяженность (до десятков километров), наличие сдвиговой компо-

ненты при общем вертикальном характере перемещений. Анализ места подобных нарушений в геодинамической истории региона позволяет идентифицировать их с продольными (реже поперечными) взбросо-сдвигами транспрессионной стадии развития Южно-Тяньшанского складчатого пояса. Из вещественных особенностей отмечаются следующие: тектоническая зона выражена либо рассланцованными и брекчированными образованиями, либо углеродистыми милонитами с зажатыми разновеликими блоками менее тектонизированных пород; вдоль разломов (но не обязательно конформ-



но) часто развиты дайки пестрого состава, характерные для ранних этапов развития взбросо-сдвиговых нарушений; в более поздние этапы формировалась кварцево-жильно-прожилковая и сульфидно-вкрапленная минерализация, что свидетельствует о высокой гидротермальной активности этих швов; часто отмечается многоактность процесса минералообразования, сопровождаемая иногда сменой знака перемещений по разломам, указывающая на длительное и сложное развитие структур с переориентацией полей напряжений.

Золотое оруденение локализуется как в самих зонах разломов, так и в оперяющих нарушениях. Типовыми обстановками являются (Миркамалов, Савчук, 2007) следующие: серии оперяющих субпараллельных пологих надвиговых нарушений (Аристан, Амантай); системы косоориентированных к магистральному разлому оперяющих крутопадающих нарушений (Аджибугут); одиночные либо сближенные зоны продольных разломов (Колчик, Бешаши); зоны поперечных к общей ориентировке складчатого пояса разломов (Даугыз) и их оперения (Амантай). Руда представляет собой углеродистые милониты с тонкой сульфидной вкрапленностью (Даугыз, Колчик), либо брекчированные породы с метасоматическим и прожилковым окварцеванием и сульфидной вкрапленностью (Аристан, Аджибугут), либо кварцевые жилы и прожилки с сульфидами (Аджибугут) и, редко, сульфидные жилы (Амантай). В целом это оруденение относится к прожилково-вкрапленной золото-сульфидной или метасоматически-прожилково-жильной золото-сульфидно-кварцевой рудной формации. Иногда вблизи, а чаще на значительном удалении от этих объектов и в собственных структурах располагаются жильные золото-серебро-кварцевые месторождения (Высоковольтное, Косманачи, Окжетпес).

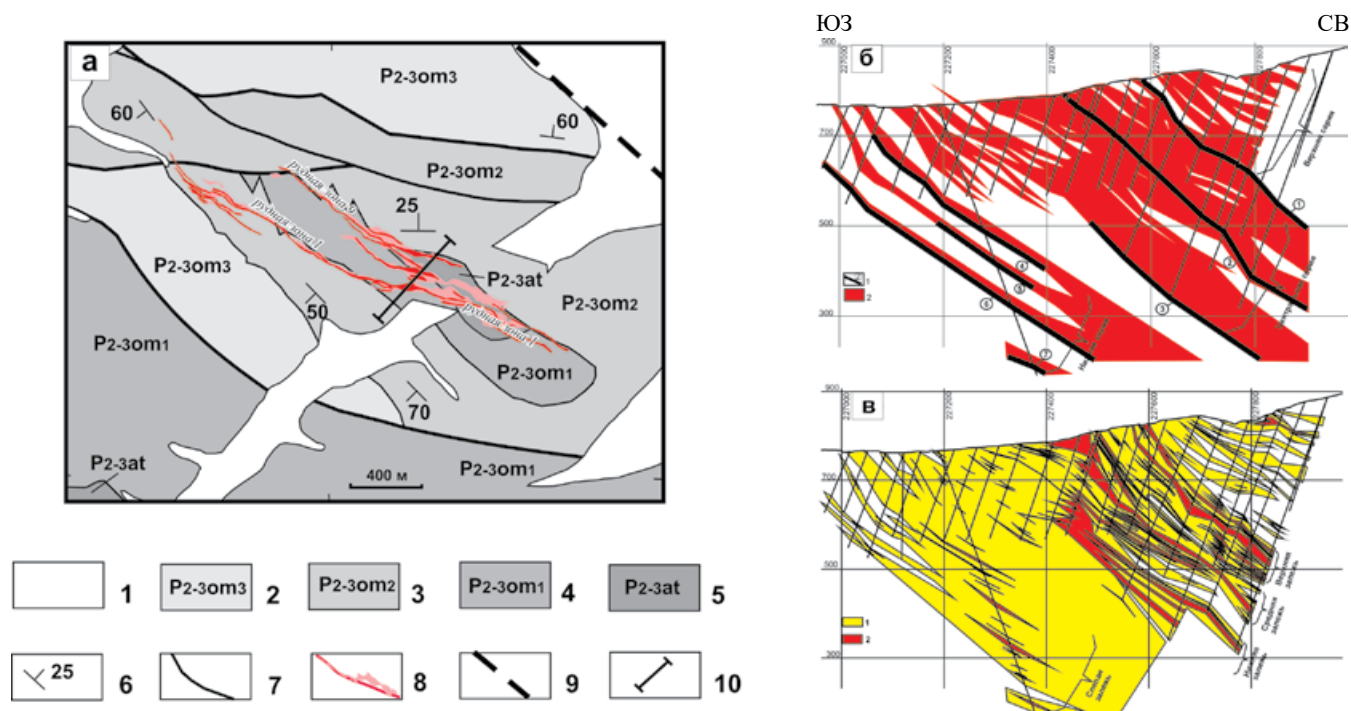
Различные взгляды на возраст золотого оруденения Кызылкума рассмотрены в работе (Савчук и др., 2018а). Сделан вывод, что минерализации герцинского (золото-сульфидно-кварцевая, 290–273 млн лет) и киммерийского (золото-серебро-кварцевая, 242–219 млн лет) циклов получили свои геохронологические датировки (Золоторудное месторождение ..., 1998), в целом совпадающие с геологическими наблюдениями. Возраст слюдисто-полевошпат-кварцевого с золотом и шеелитом минерального комплекса, основного на Мурунтау (Проценко, 1975; Савчук и др., 1987), пока устанавливается лишь геологическими данными (поздний силур–ранний девон). Важным является вывод, полученный Ю.А. Костициным (1996), о том, что изотопный состав стронция рудных метасоматитов и разнообразных жил на Мурунтау свидетельствует о внутрикоровой природе вещества этих образований, а в герцинское время произошли энергетически наиболее мощные события, затушевавшие сле-

ды регионального метаморфизма как в K-Ar, так и в Rb-Sr системах изученных минералов.

Месторождение **Сухой Лог** располагается в центральной части Мамско-Бодайбинского синклинория покровно-чешуйчатого строения (Иванов, 2014). Отмечается (Соколов, 1992), что в синклинории развиты надвиги, вязкие разрывы, кливаж и сжатые складки двух этапов деформаций. Поверхности надвигов конформны осевым поверхностям и кливажу складок первого этапа деформаций. Крупные швы надвигового характера мощностью в десятки метров с интенсивным развитием кливажа, дроблением, милонитизацией и расщеплением срезают надвиги и структуры первого этапа. По А.В. Синцову (1974), в размещении оруденения важна роль Кидали-Сухоложского надвига. Главной складчатой структурой является Сухоложская, сильно сжатая асимметричная антиклиналь, к осевой зоне которой приурочена тектоническая зона смятия, мощностью 50–250 м, падающая на северо-восток под углом 20–30°. М.П. Лобанов с соавторами (1976; 2004) отмечают, что рудоносные “углистые” сланцы, развитые в зоне смятия, образованы в результате тектоно-метасоматической переработки первично-осадочных углеродистых и углеродсодержащих терригенных пород в зонах расщепления и тектонического течения.

Рудная залежь, контурами совпадающая с тектонической зоной смятия, пластообразная мощностью 15–140 м (в среднем 70 м). Она простирается на 3000 м, следуя оси антиклиналя, и погружается к север-северо-востоку под углом 15–35°. Залежь прослежена по падению на 1100–1500 м (Золоторудные месторождения ..., 2010). Наиболее богатые руды (4.9 г/т Au) располагаются в местах пересечения пиритизированных пластов черных сланцев с осевой зоной складки, где они образуют рудные столбы вдоль погруженного гребня антиклиналя. Золотое оруденение представлено тектонизированными углеродистыми алевросланцами, содержащими рассеянные вкрапления, прожилки, гнезда, линзовидные и прожилковые вкрапления карбонатов и сульфидов.

Для месторождения Сухой Лог по Rb-Sr изохронам рудообразующих процессов (Лаверов и др., 2007; Чугаев, 2007) установлены два разновозрастных события в истории формирования рудных тел. С первым из них ( $447 \pm 6$  млн лет) связано образование основной части промышленных руд – прожилково-вкрапленного типа, а со вторым ( $321 \pm 14$  млн лет) – поздних кварцевых жил (золото-кварцевый малосульфидный тип минерализации). В.Ю. Прокофьев с соавторами (Prokofiev et al., 2019) проанализировали составы включений в кварцах и стабильные изотопы C и N в них на месторождениях Сухой Лог, Вернинское, Догаддын, показавшие их коровое происхождение. На основании Rb-Sr, Sm-Nd, Pb-Pb изотопных данных (Чу-



**Рис. 3.** Геологическая карта месторождения Павлик (а), на разрезе зоны взбросо-надвигов (черные линии) и объемной трещиноватости (красная заливка) (б), интенсивность прожилково-метасоматических изменений (желтая заливка – прожилково-метасоматический ореол  $Au = 0.01–0.79$  г/т, красная – интенсивные изменения – рудные зоны  $Au = 0.8$  г/т и более) (в).

1 – аллювиальные отложения; 2–4 – подсвиты омчакской свиты (флишеидно чередующиеся аргиллиты, алевролиты, реже песчаники, 1550–1600 м): 2 – третья подсвита, 3 – вторая подсвита, 4 – первая подсвита; 5 – атканская свита (неслоистые и неяснослоистые, гравийные, галечные, реже валунные диамиктиты, 350–650 м); 6 – элементы залегания пород; 7 – тектонические контакты; 8 – рудные зоны, контролируемые взбросо-сдвигами и взбросо-надвигами; 9 – Тенькинский глубинный разлом; 10 – линия разреза.

**Fig. 3.** Geological map of the Pavlik deposit (a), zones of upwash (black lines) and volume fracturing (red fill) (b), intensity of veined-metasomatic changes (yellow fill-veined – metasomatic halo  $Au = 0.01–0.79$  ppm, red–intense changes – ore zones  $Au = 0.8$  ppm and more) (v).

1 – alluvial deposits; 2–4 – subformations of the Omchak formation (mudstones, siltstones, less often – flyschoid alternating sandstones, 1550–1600 m): 2 – third subformation, 3 – second subformation, 4 – first subformation; 5 – Atkan formation (non-layered and indistinctly layered, gravel, pebble, less often boulder diamictites, 350–650 m); 6 – elements of rock occurrence; 7 – tectonic contacts; 8–ore zones controlled by upthrust fault and upthrust nappe; 9 – Tenka deep fault; 10–section line.

гаев, 2007) установлена ведущая роль рифейских осадочных пород как источника вещества при формировании рудной минерализации.

Крупные золоторудные месторождения Верхояно-Колымского пояса, такие как Нежданское (Бортников и др., 1998), Наталка, Павлик и др., В.Ю. Фридовский (Fridovsky, 2018) относит к позднеорогенным в сдвигово-надвиговых и разрывных зонах. Особенности их строения удобно рассмотреть на примере отрабатываемого месторождения **Павлик** (Савчук и др., 2018б), вскрытого карьером и многочисленными скважинами (рис. 3). На месторождении разведано около 30 рудных зон северо-западного простирания мощностью 5–40 м, представляющих собой сочетание жил, прожилков, зон метасоматического и брекчиевидного окварцевания.

Основными элементами структуры, оказавшими влияние на размещение золотой минерализации на месторождении Павлик (рис. 3а), служат запад-северо-западные взбросо-надвиги и взбросо-сдвиги, по-видимому оперяющие глубинный Тенькинский разлом (Шахтыров, 1997). Серия этих нарушений образует мощный (300–400 м) тектонический пакет (рис. 3б, в), в котором отчетливо выделяются серия взбросо-надвигов со сравнительно пологим ( $\angle 45^\circ$ ) залеганием. Мощность зон взбросо-надвигов – несколько метров, они выполнены тонко перетертыми углеродистыми милонитами, содержащими разновеликие “окатыши” черных алевролитов. Таким образом, между двумя крайними тектоническими поверхностями, падающими к северо-востоку, заключен мощный, интенсивно тектонизированный блок пород. Здесь про-

явлены сколовые трещины различных направлений, вмещающие в себя золото-сульфидно-кварцевую прожилково-жильную минерализацию (см. рис. 3в) и, редко, измененные дайки.

#### ВЫДЕЛЕНИЕ ТРАСС ПАЛЕОФЛЮИДОПОТОКОВ НА ОМЗ

Традиционно при изучении гидротермальных месторождений выделяются рудоподводящие, рудораспределяющие и рудовмещающие структуры, определяющие “бывшие пути движения рудоносных растворов”, в которых “по соотношению рудообразующих элементов можно установить направления гидротермальных струй” (Смирнов, 1976). Как отмечали И.И. Абрамович и И.Г. Клушин (1987), при крупномасштабных работах необходимо выявление и прослеживание признаков флюидного режима прошлого, картирование зон аккумуляции и путей движения рудоносных растворов с учетом размещения зон локальной проницаемости литосферы. Термины *рудоподводящие*, *рудораспределяющие* и *рудовмещающие структуры* могут быть использованы при региональном прогнозе, до уровня “рудное поле”, тогда как для локального прогнозирования и частных геолого-генетических построений на конкретных объектах их применение ограничено недостаточной детальностью и неопределенностью критериев их выделения. Напротив, выделение и анализ распределения исключительно рудных столбов, пригодных для выявления путей распространения флюидов в плоскости рудовмещающей структуры, не позволяют перейти к более мелким масштабам исследований. Для свободного масштабирования и отображения на схемах и разрезах результатов совместного анализа пространственного распределения рудной минерализации и результатов структурных исследований нами предлагается использовать термин *трассы палеофлюидопотоков*. Эти трассы приблизительно соответствуют распределению гидротермальных потоков в плоскостях рудовмещающих и рудоподводящих разрывных нарушений и в нашей интерпретации фиксируют пути и направления гидротермальных струй. Учитывая значительную изученность рассматриваемых месторождений, когда основные структурные элементы установлены, возможно провести построения, позволяющие геометризовать оруденелый объем и наиболее интенсивное оруденение в нем (рудные столбы). Трассы палеофлюидопотоков выявляются на основе интерполяции и экстраполяции осей концентрационных аномалий при их сопоставлении с линейными и плоскостными структурными элементами зон разрывных нарушений. Рассмотрим варианты таких построений для разных типов объектов на примере месторождений Мурунтау и Павлик.

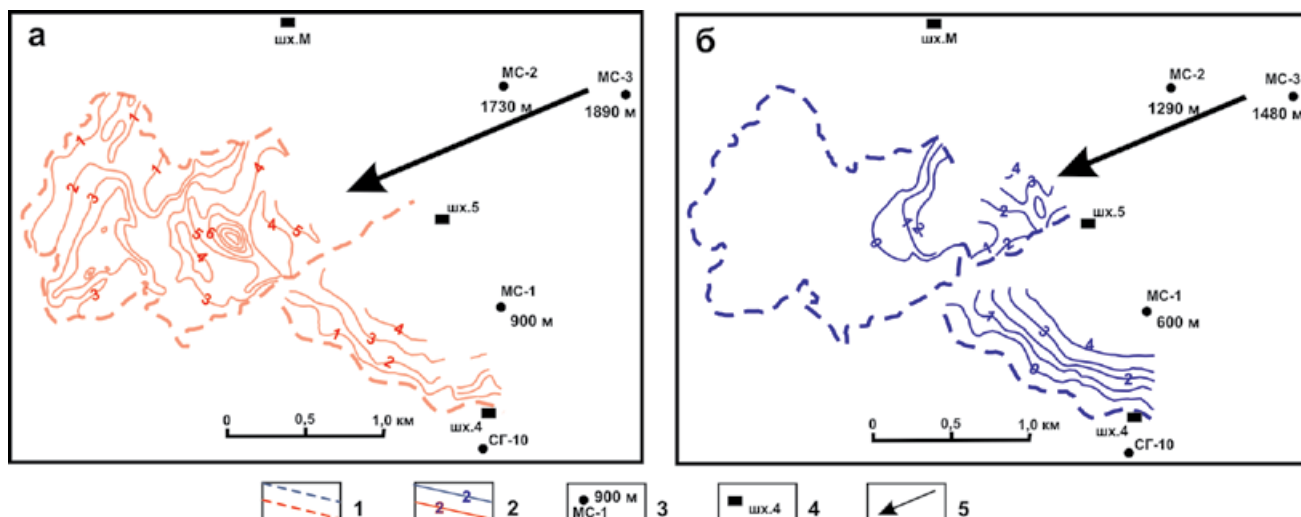
На месторождении Мурунтау рудные залежи не имеют резких границ, переходят одна в другую и представляют собой единое оруденелое тело. В целом объем, генерализованно охватывающий все рудные образования месторождения, выделяется нами как Главная рудоносная залежь Мурунтау. Она имеет пластообразную форму и образует крупное стратифицированное тело в Мурунтауской тектонической линзе. Фактически верхняя и нижняя границы распространения оруденения определяются ее кровлей и подошвой (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что восточные и северо-восточные границы Главной рудоносной залежи не оконтурены и остаются открытыми. Это было подтверждено бурением глубоких скважин-спутников МС-1, МС-2 и МС-3 (см. рис. 4), вскрывших на глубинах 600–900, 1290–1730 и 1480–1890 м соответственно серии интервалов с промышленным золотом (Шаякубов и др., 1991). Вещественно-минералогические характеристики вскрытого оруденения соответствуют развитому на Мурунтау слюдисто-полевошпат-кварцевому минеральному комплексу. В отличие от этих скважин сверхглубокая скважина СГ-10 в подстилающей толще вскрыла только три сравнительно маломощных интервала с золото-сульфидно-кварцевой минерализацией в зонах секущих разломов (Золоторудное месторождение..., 1998). В результате этого бурения установлено, что ранее изученная и вскрытая часть месторождения (карьер, шахты, буровые скважины) является его западным флангом, а секущие рудные образования в центре карьера не характеризуют позицию всего месторождения.

На каждом из рассматриваемых объектов при разведочных работах были выделены пологие *рудные столбы* разных размеров. В.Л. Русиновым с соавторами (2008) описаны столбы на месторождении Сухой Лог. Оруденение месторождения Мурунтау образует полого склоняющийся по зоне Главного шарьяжа к востоку и северо-востоку гигантский уплощенный рудный столб (см. рис. 1, 4). Именно к центральной части этого рудного столба приурочена наиболее мощная и богатая минерализация. В верхней его части наблюдается значительное расширение ореола минерализации вдоль Главного шарьяжа, но интенсивность оруденения здесь уже ниже (уменьшаются мощности и содержания). Таким образом, распределение рудной минерализации в общих чертах подчинено двум направлениям: основное – по восстанию зоны шарьяжа и второстепенное (в верхней части) – вдоль нее.

На примере месторождения Мютенбай (юго-восточный фланг Мурунтау) исследовано положение этих второстепенных (по отношению к Главной рудоносной залежи) рудных столбов (рис. 5). В соответствии с элементами структуры на различных гипсометрических срезах (горизонты горно-буровых работ) обособлены скопления рудных тел,





**Рис. 4.** Морфология подошвы (а) и кровли (б) распространения рудной минерализации месторождения Мурунтау в условных изогипсах (по данным разведочного бурения Кызылкумской ГРЭ).

1 – границы распространения рудной минерализации; 2 – условные изогипсы подошвы и кровли и их отметки; 3 – положение скважин (СГ-10, МС-1, МС-2, МС-3) и глубины подошвы (а) и кровли (б) рудной минерализации в них, по (Шаякубов и др., 1991); 4 – шахты; 5 – предполагаемая трасса палеофлюидопотока.

**Fig. 4.** Morphology of the sole (a) and roof (б) of the distribution of ore mineralization of the Muruntau deposit in conditional isohypses (according to the data of exploratory drilling of the Kyzylkum GRE).

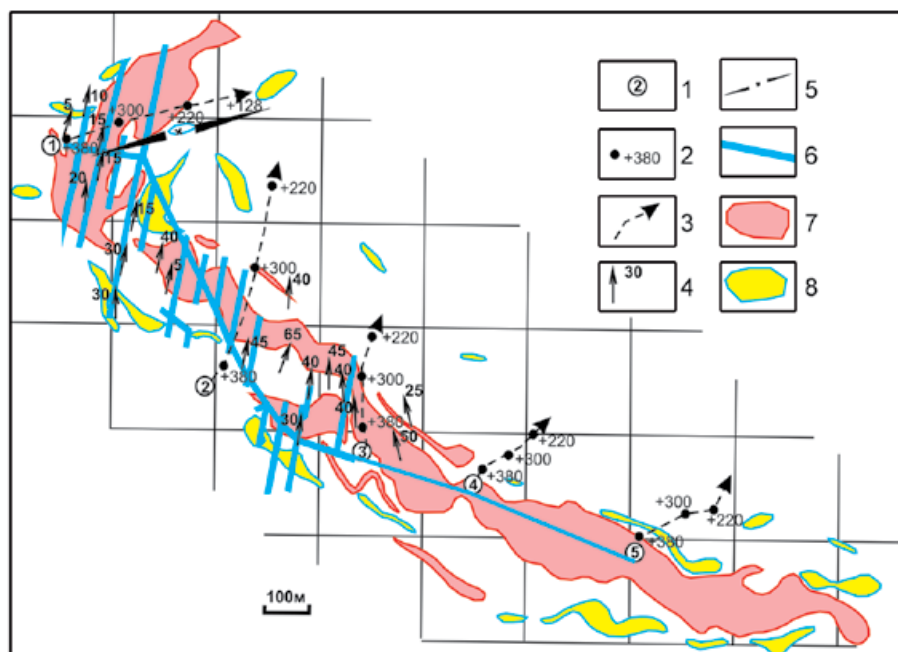
1 – boundaries of the distribution of ore mineralization; 2 – conditional isohypses of the sole and roof and their marks; 3 – the position of wells (SG-10, MS-1, MS-2, MS-3) and the depth of the sole and roof of ore mineralization in them, according to (Shayakubov et al., 1991); 4 – mines; 5 – the proposed route of the paleofluid flow.

имеющих в плане изометрично-овальную форму, с соотношением осей 1 : (2–4). Их длинные оси ориентированы вдоль вязких разрывов, согласно кливажу, короткие – перпендикулярно им. Последовательной фиксации центров этих скоплений на разных уровнях установлены склонения рудных столбов. Из них 1-й рудный столб ориентирован вдоль оси наложенной синклинальной складки, а 2-й и 3-й – размещаются близко параллельно к шарнирам лежащих сильно сжатых складок этапа шарьирования. Ориентировка 4-го и 5-го рудных столбов, по-видимому, соответствует изменившимся направлениям шарниров лежащих складок за счет разворота блоков по поздним разломам. Как правило, эти рудные столбы локализуются в местах пересечения рудовмещающими вязкими разрывами и зонами смятия пластов благоприятных пород в замках крупных складок.

Таким образом, распределение рудной минерализации на месторождении Мурунтау подчиняется ориентировке плоскостных (главный шарьяж, вязкие разрывы, зоны смятия, кливаж) и линейных (ориентировка шарниров складок) элементов, образованных в этап шарьирования. Первое, основное, направление может указывать на ориентировку и положение главного пути миграции рудоносных гидротерм – трасса палеофлюидопотока

по восстанию шарьяжа, а второе направление соответствует второстепенным каналам, положение которых обусловлено пересечением синшарьяжных структур с благоприятными литологическими горизонтами, обеспечивающими раздув оруденения на верхних уровнях.

На месторождении Павлик для определения трасс палеофлюидопотоков проведена статистическая обработка данных опробования керна разведочных скважин на наиболее изученных профилях 10–30 (рис. 6). Две выделенные области максимальных значений от 100 до  $\geq 300$  м<sup>3</sup>/г/т, также фиксируемые по наибольшей мощности и интенсивности рудной минерализации, здесь вытянуты с северо-востока на юго-запад. В юго-западной части наблюдается их раздув и развито более слабое оруденение. Такая ситуация, по нашему мнению, свидетельствует о поступлении рудоносных растворов в мощный, интенсивно тектонизированный блок пород между серией взбросо-надвигов (см. рис. 3. б, в), снизу вверх с северо-востока, где расположен рудоподводящий Тенькинский глубинный разлом. Выделяемые наклонные рудные столбы фиксируют осевые части палеофлюидопотоков. В этом случае к северо-востоку от известных рудных зон по направлению к рудоподводящему глубинному разлому возможно выявление корневых частей рудной системы, перспективной на



**Рис. 5.** Склонение рудных столбов на месторождении Мютенбай по данным подземных горных работ.

1 – номер рудного столба; 2 – положение центров рудных столбов на горизонтах горных работ; 3 – генерализованное склонение рудных столбов; 4 – ориентировки осей ранних складок, замеренные в горных выработках; 5 – ось Мютенбайской синформы; 6 – подземные горные выработки горизонта +380 шахты 4 Кызылкумской ГРЭ; 7, 8 – контуры рудных залежей, по (Охунов и др., 2019; с изменениями): 7 – по борту 1.2 г/т, 8 – по борту 0.8 г/т.

**Fig. 5.** Declination of ore columns at the Myutenbai deposit according to underground mining data.

1 – the number of the ore column; 2 – the position of the centers of the ore columns on the horizons of mining operations; 3 – the generalized declination of the ore columns; 4 – the orientation of the axes of the early folds measured in the mine workings; 5 – the axis of the Myutenbai synform; 6 – underground mine workings of the horizon +380 of the mine 4 of the Kyzylkum GRE; 7, 8 – the contours of ore deposits, according to (Okhunov et al., 2019; with changes): 7 – on border 1.2 ppm, 8 – on border 0.8 ppm.

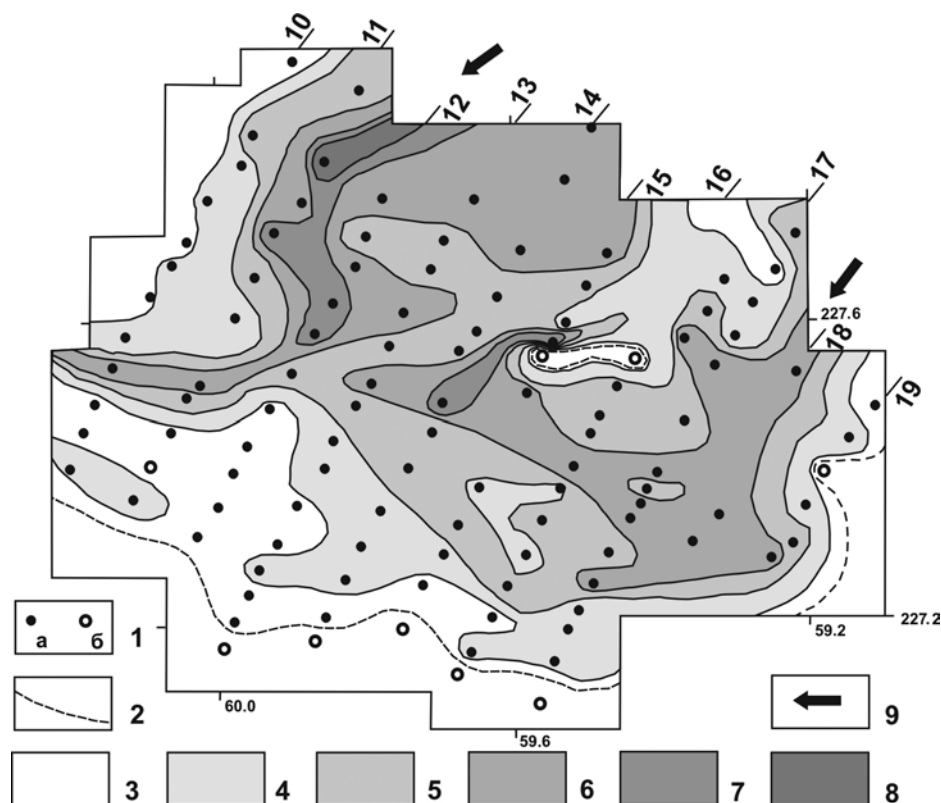
наиболее мощное и интенсивное оруденение. Этот вывод может служить дополнительным обоснованием при определении направления первоочередных геологоразведочных работ.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В рассмотренных примерах в результате субдукционно-коллизийных процессов, происходивших на границах крупных континентальных массивов, образовывались протяженные складчатые пояса. В составе этих поясов, надвинутых на окраины континентов, большую часть занимают мощные углеродистые песчано-сланцевые окраинно-континентальные отложения. Эти терригенные отложения испытали значительную структурно-вещественную перестройку, на ранних стадиях они нарушены первично пологими шарьяжными и крупными надвиговыми структурами и метаморфизованы на уровне зеленых сланцев. Впоследствии, за счет продолжающегося давления, они деформированы наложенной складчатостью и транспрессионными сдвиговыми нарушениями.

Предложенное деление ОМЗ на эпи-, мезо- и гипозональные (Groves et al., 1998) основано на глубинности рудообразования. Позднее Р. Голдфарб, Д.И. Гровс (Goldfarb, Groves, 2015) обозначили границу между мезо- и гипозональными месторождениями в районе хрупко-пластичного перехода (brittle-ductile transition). Такое разделение коррелируется с обстановками, ранее обсуждаемыми авторами в субдукционно-гидротермальной модели рудообразования (Savchuk, Mukhin, 1994; Савчук и др., 2018a).

В.Ю. Фридовский (Fridovsky, 2018) учитывает временной фактор развития складчатого пояса и предлагает разделение ОМЗ на ранне- и позднеорогенные. Такой подход к типизации, с разделением по времени образования рудоконтролирующих структур, представляется нам весьма перспективным. Мы предлагаем за основу взять стадийность развития складчатых поясов от субдукционной к коллизийно-транспрессионной стадии (Савчук, Волков, 2019). При прогнозно-поисковых работах в первую очередь важны структурные аспекты, так как возникающие на разных стадиях структу-



**Рис. 6.** Схема положения и ориентировки рудных столбов центральной части месторождения Павлик (проекция на горизонтальную плоскость).

1 – скважины по разведочным линиям (номера вверху): а – с рудными интервалами, б – безрудные; 2 – граница распространения рудной минерализации; 3–8 – площади различных значений интенсивности оруденения (суммированные  $\text{м}^3/\text{т}$  по скважинам): 3 – 1–9, 4 – 10–49, 5 – 50–99, 6 – 100–199, 7 – 200–299, 8 –  $\geq 300$ ; 9 – предполагаемые трассы рудоносных палеофлюидопотоков.

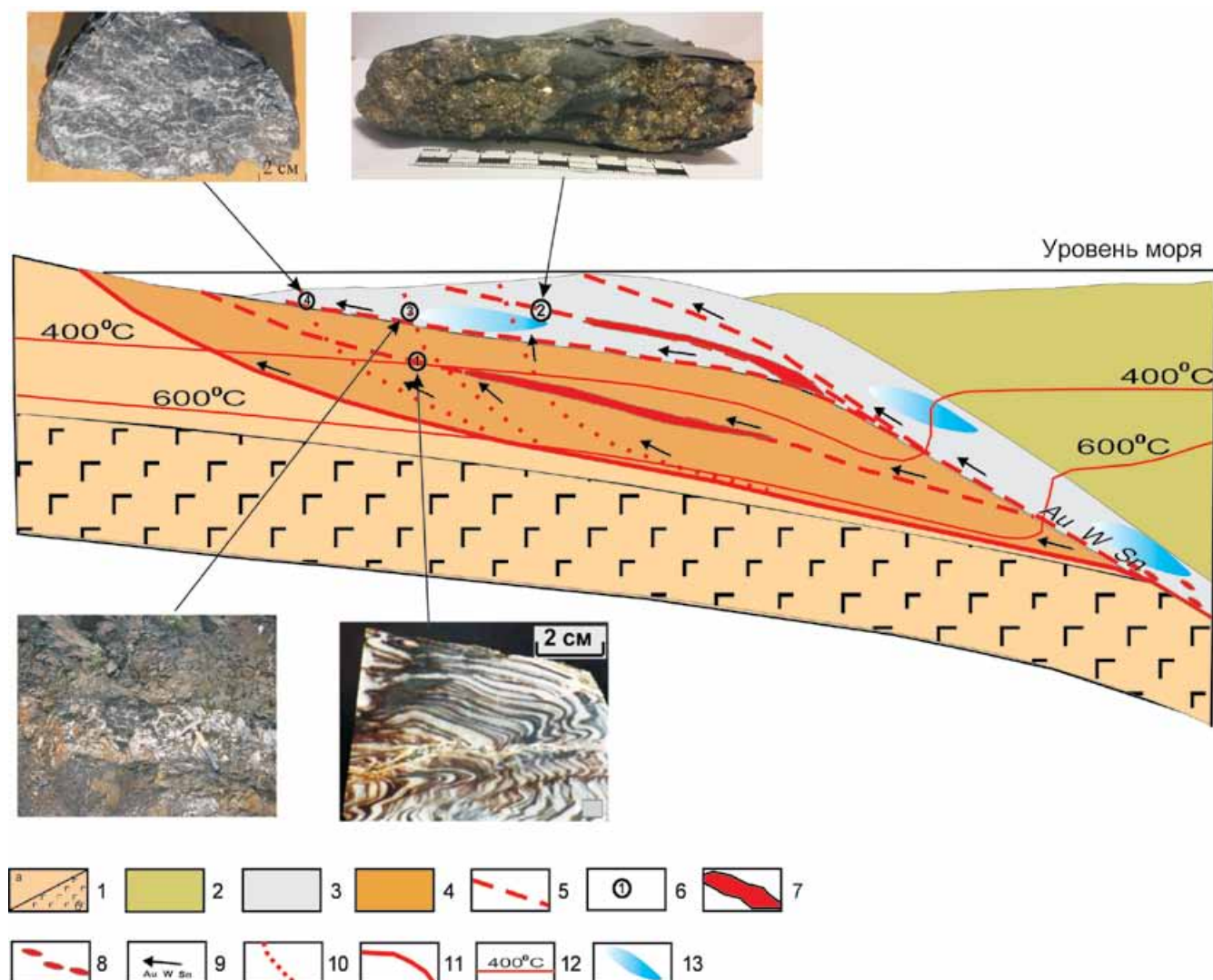
**Fig. 6.** Diagram of the position and orientation of the ore pillars of the central part of the Pavlik deposit (projection on the horizontal plane).

1 – the wells on exploration lines (numbers at the top): а – with ore intervals, б – without ore; 2 – the boundary of the distribution of ore mineralization; 3–8 – the areas of different values of the intensity of mineralization (summed by wells, ppb): 3 – 1–9, 4 – 10–49, 5 – 50–99, 6 – 100–199, 7 – 200–299, 8 –  $\geq 300$ ; 9 – proposed routes of ore-bearing paleofluidic flows.

ры контролируют размещение ОМЗ, а особенности структурного парагенезиса определяют морфологию рудных тел и залежей, их сочетание и положение в пространстве.

Так, в рассмотренных примерах явно выделяются два разновременных типа месторождений ОМЗ: ранний, связанный со специфичными структурами пластичных деформаций (ката- и мезозональными, по Е.И. Паталахе (1985)) – зонами шарьяжей, крупноамплитудных надвигов, вязких разрывов, смятия и кливажирования, и поздний – хрупких нарушений, сопровождающих транспрессионные сдвиги-взбросовые зоны. Таким образом, по особенностям рудоконтролирующих структур среди ОМЗ выделено два основных типа – шарьяжно-надвиговый и транспрессионный, установлены их позиции (рис. 7) и даны основные характеристики.

Месторождения золота **шарьяжно-надвигового типа**, например Кокпатас, Мурунтау, Сухой Лог, обладают порой гигантскими запасами, до многих сотен и тысяч тонн металла. Главную роль в контроле и распределении рудных зон здесь играют пологие (либо вторично наклоненные) шарьяжно-надвигово-кливажные структуры. Закономерности образования, развития и размещения в пространстве этих структур (Эз, 1978; Паталаха, 1985) отличаются от хрупких разломно-трещинных зон последующей транспрессионной стадии (Морозов, 2002). По Д. Гровсу и Р. Голдфарбу (Groves et al., 1998; Goldfarb, Groves, 2015), это гипозональные месторождения. Для них характерны пластово-седловидные, наклонные залежи, состоящие из многоярусных серий сближенных метасоматически-прожилково-вкрапленных и жильных рудных тел золото-кварце-



**Рис. 7.** Позиции различных типов орогенных месторождений золота в пределах складчатого пояса.

1 – континентальная окраина; 2 – активная окраина, островная дуга или супертеррейн; 3, 4 – складчато-надвиговый пояс: 3 – отложения континентального склона и подножья или аккреционная призма; 4 – метаморфическое основание, вошедшее в складчатый пояс; 5 – зоны шарьяжей и ранних надвигов; 6 – позиции месторождений, цифры в кружках (шарьяжно-надвигового типа: 1 – золото-кварцевых прожилково-метасоматических; 2 – золото-сульфидных прожилково-вкрапленных; транспрессионного типа: 3 – золото-сульфидно-кварцевых жильно-прожилковых; 4 – золото-сульфидно-кварцевых прожилково-вкрапленных); 7 – уровень становления интрузивных массивов; 8 – селективное плавление; 9 – направление перемещения подвижной фазы (расплав, флюид, гидротермы) и элементы, выносимые за пределы конкретной обстановки; 10 – разрывные нарушения коллизионно-транспрессионной стадии; 11 – зона поддвига (детachment под складчато-надвиговым поясом); 12 – изотермы; 13 – области флюидогенерации: выделение поровой воды, дегидратация глинистых минералов, дегидратация слоистых силикатов. На фото типичные руды месторождений: 1 – Мурунтау, 2 – Сухой Лог, 3 – Родионовское, 4 – Павлик.

**Fig. 7.** Position of various types of orogenic gold deposits within the folded belt.

1 – continental margin; 2 – active margin, island arc or superterrane; 3, 4 – fold-thrust belt: 3 – deposits of the continental slope and foot or accretion prism; 4 – metamorphic base included in the fold belt; 5 – zones of sharriages and early thrusts; 6 – positions of deposits sharriage-thrust type figures in the circles (1 – gold-quartz veined-metasomatic, 2 – gold-sulfide veined-inclusion transpression type, 3 – gold-sulfide-quartz vein-veined, 4 – gold-sulfide-quartz veined-inclusion); 7 – the level of formation of intrusive massifs; 8 – selective melting; 9 – the direction of movement of the mobile phase (melt, fluid, hydrotherms) and elements carried out outside the specific situation; 10 – the faults of the collision-transpression stage; 11 – the zone of sub-thrust (detachment under the fold-thrust belt); 12 – isotherms; 13 – areas of fluid generation: pore water release, dehydration of clay minerals, dehydration of layered silicates. The photo shows typical ore deposits: 1 – Muruntau, 2 – Sukhoi Log, 3 – Rodionovskoe, 4 – Pavlik.

вой, золото-сульфидно-кварцевой, золото-сульфидной рудных формаций.

**Транспрессионный тип** месторождений, контролируемый региональными сдвиговыми структурами, также широко проявлен (Savchuk, Mukhin, 1994; Миркамалов, Савчук, 2007; Fridovsky, 2018). Золотая минерализация непосредственно размещается в оперяющих круто- и пологопадающих разломах и объемных трещинных структурах между ними, образованных уже при хрупких деформациях. Масштабы объектов варьируют от нескольких до сотен тонн золота. Для этих мезозональных месторождений, по (Groves et al., 1998; Goldfarb, Groves, 2015), характерны секущие, полого- и крутопадающие формы, порой объединяемые в корытовидные залежи за счет серии сближенных оперяющих нарушений. Часто отмечается многоактность процесса минералообразования, сопровождающегося иногда сменой знака перемещений по разломам, указывающей на длительное и сложное развитие структур с переориентацией полей напряжений. Прожилково-вкрапленные или метасоматически-прожилково-жилые золото-сульфидно-кварцевые руды месторождений представляют собой либо углеродистые милониты с тонкой сульфидной вкрапленностью, либо брекчированные породы с метасоматическим прожилковым окварцеванием и сульфидной вкрапленностью, либо кварцевые жилы и прожилки с сульфидами. Сульфиды представлены мышьяковистым пиритом и арсенопиритом.

Различия в морфологии рудных образований разного типа и распределении их в пространстве относительно основных структурных элементов (шарьяжей, надвигов, сдвиговых зон и т.д.) должны определять дифференцированный подход к прогнозным построениям и геологоразведочному процессу. Кроме того, установление рудоконтролирующей роли шарьяжно-надвиговых структур и признание пластовых, складчатых форм рудных залежей на ряде крупных ОМЗ побуждают к пересмотру ряда положений устоявшихся генетических концепций, рассмотренных в (Сафонов, 1997).

Для этих двух типов месторождений на примере Мурунтау и Павлика по результатам геологоразведочных работ оконтурены главные рудные залежи. На основе сопоставления результатов анализа пространственного распределения содержания золота и основных структурных элементов зон разрывных нарушений установлены трассы палеофлюидопотоков. Согласно нашей интерпретации, эти трассы фиксируют места наиболее масштабного рудоотложения, что позволяет прогнозировать положение глубокозалегающих и не выходящих на поверхность рудных зон.

Особенности коллизионного процесса и последующей истории привели к вскрытию в Патомской дуге в России и в Западном Узбекистане зо-

лоторудных объектов шарьяжно-надвигового типа. В Южном Верхоянье наиболее сопоставимыми с этим типом ОМЗ представляются Юр и Дуэт в Аллах-Юньском золото-кварцевом поясе (Горячев, 1998), раннеорогенные по В.Ю. Фридовскому (Fridovsky, 2018), но масштабы оруденения здесь значительно скромнее, что позволяет надеяться на их увеличение. В Верхояно-Колымском поясе основные золоторудные объекты относятся к транспрессионному типу, синшарьяжные месторождения пока не известны, и для их выявления можно рекомендовать опосредованное зонирование на контактах террейнов и в Колымо-Омолонском супертеррейне, где весьма вероятно выявление нетрадиционной для региона прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализации, не дающей россыпей.

После отложения вкраплено-прожилковой золотой минерализации в шарьяжно-надвигово-кливажных нарушениях на всех объектах этого типа в последующую, транспрессионную, стадию развития в локальных трещинных структурах происходило образование богатых рудных тел. Это может свидетельствовать о длительности развития рудообразующей системы или о перераспределении золота во время последующих тектонических процессов, сопровождавшихся гидротермальной активностью с привносом вещества.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамович И.И., Клушин И.Г. (1987) Геодинамика и металлогения складчатых областей. Л.: Недра, 247 с.
- Атлас моделей рудных месторождений Узбекистана. (2010) Р.Х. Миркамалов, И.М. Голованов, В.В. Чиркин, Л.П. Фадеева, Г.Х. Миркамалова, (Ред. И.Б. Турамурадов и др.) Ташкент: ГП НИИМР, 100 с.
- Бискэ Ю.С. (1996) Палеозойская структура и история Южного Тянь-Шаня. СПб.: Изд-во СПбГУ, 192 с.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Алпатов В.А., Наумов В.Б., Носик Л.П., Миронова О.Ф. (1998) Минералого-геохимические особенности и условия образования Нежданинского месторождения золота (Саха-Якутия, Россия). *Геология рудн. месторождений*, **40**(2), 137-156.
- Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Раздолина Н.В. (1996) Генезис золото-кварцевого месторождения Чармитан (Узбекистан). *Геология рудн. месторождений*, **38**(3), 238-257.
- Буртман В.С. (1973) Геология и механика шарьяжей. Тектоника варисцид и шарьяжи Кызылкума. М.: Недра, 113с.
- Буртман В.С. (2006) Тянь-Шань и Высокая Азия. Тектоника и геодинамика в палеозое. М.: Геос, 216 с.
- Буряк В.А. (1987) Формирование золотого оруденения в углеродсодержащих толщах. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (12), 94-105.
- Горячев Н.А. (1998) Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 210 с.
- Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Рафаилович М.С. (2011) Крупные месторождения золота в черносланцевых



- толщах. Условия формирования, признаки сходства. Алматы: Изд-во ВКГТУ, 272 с.
- Золоторудное месторождение Мурунтау. (1998) Ташкент: Фан, 539 с.
- Золоторудные месторождения России. (2010) (Под ред. М.М. Константинова). М.: Акварель, 349 с.
- Иванов А.И. (2014) Золото Байкало-Патомы (геология, оруденение, перспективы). М.: ЦНИГРИ, 215 с.
- Костицын Ю.А. (1996). Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Магматизм, метаморфизм и рудообразование. *Геохимия*, **12**, 1123-1138.
- Кряжев С.Г. (2017) Изотопно-геохимические и генетические модели золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах. *Отеч. геология*, (1), 28-38.
- Лаверов Н.П., Чернышев И.В., Чугаев А.В., Байрова Э.Д., Гольцман Ю.В., Дистлер В.В., Юдовская М.А. (2007) Этапы формирования крупномасштабной благороднометалльной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения. *Докл. АН*, **415**(2), 236-241.
- Лобанов М.П., Радченко К.М., Чернецкая И.И., Охотников И.А. Номоконова Ю.А., Новикова Э.Ф. (1976) Рудоносные углистые пелитоиды линейных зон смятия Патомского нагорья. *Геология и геофизика*, (9), 34-45.
- Лобанов М.П., Синцов А.В., Сизых В.И., Коваленко С.Н. (2004). О генезисе продуктивных "углистых" сланцев Ленского золотоносного района. *Докл. АН*, **394**(3), 360-363.
- Миркамалов Р.Х., Савчук Ю.С. (2007) Постколлизонные региональные сдвиговые зоны – основной резерв для выявления месторождений золота в Западном Узбекистане. *Геология и минер. ресурсы*, (5), 39-50.
- Миркамалов Р.Х., Чирикин В.В., Хан Р.С., Харин В.Г., Сергеев С.А. (2012) Результаты U-Pb (SHRIMP) датирования гранитоидных и метаморфических комплексов Тянь-Шанского складчатого пояса (Узбекистан). *Вестн. Санкт-Петербургского ун-та*, **7**(1), 3-25.
- Морозов Ю.А. (2002) Структурообразующая роль транспрессии и транстенсии. *Геотектоника*, (6), 3-24.
- 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.
- Мухин П.А., Каримов Х.К., Савчук Ю.С. (1991) Палеозойская геодинамика Кызылкумов. Ташкент: Фан, 148 с.
- Образцов А.И. (2009) Развитие представлений о морфологии месторождения. *Отеч. геология*, (3), 96-100.
- Охунов А.Х., Зималина В.Я., Мухаммедов Ж.Э. (2019) Внутреннее строение рудоносной зоны месторождения Мютенбай. *Ташкент. Геология и минер. ресурсы*, (2), 64-68.
- Паталаха Е.И. (1985) Тектонофациальный анализ. М.: Недра, 120 с.
- Проценко В.Ф. (1975) Диафориты Мурунтау и их рудоносность. *Минералогия, геохимия и околорудные метасоматиты редкометалльных, золоторудных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии*. Ташкент: САИГИМС, с. 69-76.
- Рудные месторождения Узбекистана. (2001) Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 611 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. *Геология рудн. месторождений*, **50**(1), 1-44.
- Савчук Ю.С. (1987) Структурные условия размещения золотого оруденения и строение рудных тел месторождения Мурунтау. Автореф. дис. ... канд. г.-м. наук. Алма-Ата: ИГ АН КазССР, 20 с.
- Савчук Ю.С., Асадулин Э.Н., Волков А.В., Аристов В.В. (2018а) Уникальное месторождение золота Мурунтау (Узбекистан): геодинамическая позиция и происхождение рудообразующей системы. *Геология рудн. месторождений*, **60**(5), 413-447.
- Савчук Ю.С., Волков А.В. (2019) Крупные и суперкрупные орогенные золотые месторождения: геодинамика, структура, генетические следствия. *Литосфера*, **19**(6), 813-833.
- Савчук Ю.С., Волков А.В., Аристов В.В., Сидоров В.А., Лямин С.М. (2018б) Строение и состав золоторудных залежей месторождения Павлик. *Руды и металлы*, (2), 77-85.
- Савчук Ю.С., Проценко В.Ф., Колесников А.В. (1987) Минеральные комплексы в каркасе структур Мурунтау. Ташкент. *Записки Узб. отд. ВМО*, **40**, 30-33.
- Сафонов Ю.Г. (1997) Гидротермальные золоторудные месторождения: распространенность – геолого-генетические типы – продуктивность рудообразующих систем. *Геология рудн. месторождений*, **39**(1), 25-40.
- Синцов А.В. (1974) Роль Кидали-Сухоложского разлома в размещении золотого оруденения (Ленский золотоносный район). *Докл. АН СССР*, **218**(4), 916-918.
- Смирнов В.И. (1976) Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 688 с.
- Соколов С.К. (1992) Рифтовые и шельфовые комплексы протерозойского Бодайбинского прогиба и закономерности размещения золотого оруденения. Автореф. дис. ... к. г.-м. наук. М.: ИМГРЭ, 27 с.
- Чугаев А.В. (2007) Rb-Sr изотопная система гидротермального кварца, возраст и источники вещества золоторудных месторождений Сухой Лог (Россия) и Колар (Индия). Автореф. дис. ... к. г.-м. наук. Москва: ИГЕМ РАН, 27 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, с. 62-64.
- Шаякубов Т.Ш., Цой Р.В., Голованов И.М., Донской В.М., Яковлев В.Г. (1991) Мурунтауская сверхглубокая скважина. *Сов. геология*, (10), 10-22.
- Эз В.В. (1978) Структурная геология метаморфических комплексов. М.: Недра, 191 с.
- Fridovsky V.Y. (2018) Structural control of orogenic gold deposits of the Verkhoyansk-Kolyma folded region, north-east Russia. *Ore Geol. Rev.*, **103**, 38-55.
- Goldfarb R.J., Groves D.I. (2015) Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, **233**, 2-26.
- Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. (2001) Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geol. Rev.*, **18**, 1-75.
- Goldfarb R.J., Phillips G.N., Nokleberg W.J. (1998) Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim. *Ore Geol. Rev.*, **13**, 185-218.

- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam H., 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 type. *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.
- Prokofiev V.Yu., Safonov Yu.G., Lüders V., Borovikov A.A., Kotov A.A., Zlobina T.M., Murashov K.Yu., Yudovskaya M.A., Selektor. S.L. (2019) The sources of mineralizing fluids of orogenic gold deposits of the Baikal-Patom and Muya areas, Siberia: Constraints from the C and N stable isotope compositions of fluid inclusions. *Ore Geol. Rev.*, **111**, 1-18.
- Savchuk Yu.S., Mukhin P.A. (1994) Evolution of Ore Processes in the Southern Tien Shan Accretional Prism (Kyzylkum Geodynamic Test Range). *Geotectonics*, **27**(6), 505-523.
- Abramovich I.I., Klushin I.G. (1987) Geodynamics and metallogeny of folded regions. Leningrad, Nedra Publ., 247 p. (In Russian)
- Atlas of ore deposits models in Uzbekistan. (2010) R.Kh. Mirkamalov, I.M. Golovanov, V.V. Chirikin, L.P. Fadeicheva, G.Kh. Mirkamalova. (Eds.: I.B. Turamuratov et al.) Tashkent, GP NIIMR Publ., 100 p. (In Russian)
- Biske Yu.S. (1996) Paleozoic structure and history of the Southern Tien Shan. St. Petersburg, St. Petersburg State University Publishing House, 192 p. (In Russian)
- Bortnikov N.S., Gamyran G.N., Alpatov V.A., Naumov V.B., Nosik L.P., Mironova O.F. (1998) Mineralogical and geochemical features and conditions of formation of the Nezhdaninsky gold deposit (Sakha-Yakutia, Russia). *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **40**(2), 137-156.
- Bortnikov N.S., Prokof'ev V.Yu., Razdolina N.V. (1996) Genesis of the Charmitan gold-quartz deposit (Uzbekistan). *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **38**(3), 238-257.
- Burtman V.S. (1973) Geology and mechanics of shariages. Tectonics of Variscides and shariages of Kyzylkum. Moscow, Nedra Publ., 113 p. (In Russian)
- Burtman V.S. (2006) Tien Shan and High Asia. Tectonics and geodynamics in the Paleozoic. Moscow, GEOS Publ., 216 p. (In Russian)
- Buryak V.A. (1987) Formation of gold mineralization in carbon-containing strata. *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (12), 94-105.
- Chugaev A.V. (2007) Rb-Sr isotopic system of hydrothermal quartz, age and sources of matter of the Sukhoi Log (Russia) and Kolar (India) gold deposits. Cand. geol. and min. nauk diss. Moscow, IGEM RAS, 27 p. (In Russian)
- D'yachkov B.A., Mizernaya M.A., Rafailovich M.S. (2011) Large gold deposits in black shale strata. Conditions of formation, signs of similarity. Almaty, EKSTU Publishing House, 272 p. (In Russian)
- Ez V.V. (1978) Structural geology of metamorphic complexes. Moscow, Nedra Publ., 191 p. (In Russian)
- Fridovsky V.Y. (2018) Structural control of orogenic gold deposits of the Verkhoyansk-Kolyma folded region, north-east Russia. *Ore Geol. Rev.*, **103**, 38-55.
- Gold ore deposits of Russia. (2010) (Ed. M.M. Konstantinov). Moscow, Akvarel' Publ., 349 p. (In Russian)
- Goldfarb R.J., Groves D.I. (2015) Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, **233**, 2-26.
- Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. (2001) Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geol. Rev.*, **18**, 1-75.
- Goldfarb R.J., Phillips G.N., Nokleberg W.J. (1998) Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim. *Ore Geol. Rev.*, **13**, 185-218.
- Goryachev N.A. (1998) Geology of Mesozoic gold-quartz vein belts of Northeast Asia. Magadan, SVKNII FEB RAS, 210 p. (In Russian)
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam H., 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 type. *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.
- Ivanov A.I. (2014) Gold of Baikal-Patoma (geology, mineralization, prospects). Moscow, FSUE TsNIGRI Publ., 215 p. (In Russian)
- Kostitsyn Yu.A. (1996) Rb-Sr isotope studies of the Muruntau deposit. Magmatism, metamorphism, and ore formation. *Geokhimiya*, **12**, 1123-1138. (In Russian)
- Kryazhev S.G. (2017) Isotope-geochemical and genetic models of gold deposits in carbon-terrigenous strata. *Otech. Geologiya*, (1), 28-38.
- Laverov N.P., Chernyshev I.V., Chugaev A.V., Bairova E.D., Gol'tsman Yu.V., Distler V.V., Yudovskaya M.A. (2007) Stages of formation of large-scale noble metal mineralization of Sukhoi Log deposits (Eastern Siberia): results of isotope-geochronological study. *Dokl. AN*, **415**(2), 236-241. (In Russian)
- Lobanov M.P., Radchenko K.M., Chernetskaya I.I., Okhotnikov I.A., Nomokonova Yu.A., Novikova E.F. (1976) Ore-bearing carbonaceous pelitoids of linear zones of crushing of the Patom upland. *Geol. Geofiz.*, **9**, 34-45. (In Russian)
- Lobanov M.P., Sintsov A.V., Sizykh V.I., Kovalenko S.N. (2004) On the genesis of productive "carbonaceous" shales of the Lena gold-bearing region. *Dokl. AN*, **394**(3), 360-363. (In Russian)
- Mirkamalov R.Kh., Savchuk Yu.S. (2007) Post-collision regional shear zones-the main reserve for identifying gold deposits in Western Uzbekistan. *Geologiya i Mineral'nye resursy*, **5**, 39-50. (In Russian)
- Mirkamalov R.Kh., Chirikin V.V., Khan R.S., Kharin V.G., Sergeev S.A. (2012) Results of U-Pb (SHRIMP) dating of granitoid and metamorphic complexes of the Tien-Shan folded belt (Uzbekistan). *Vestn. S-Petersburg Univ.*, **7**(1), 3-25. (In Russian)
- Morozov Yu.A. (2002) The structure-forming role of transpression and transtension. *Geotektonika*, **6**, 3-24. (In Russian)
- Mukhin P.A., Karimov Kh.K., Savchuk Yu.S. (1991) 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 Southern Tamdytau (Central Kyzylkum). *Geotektonika*, **2**, 64-72. (In Russian)
- Muruntau gold deposit. (1998) Tashkent, Fan Publ., 539 p. (In Russian)

- Obraztsov A.I. (2009) Development of ideas about the morphology of the deposit. *Otech. Geologiya*, (3), 96-100. (In Russian)
- Okhunov A.Kh., Zimalina V.Ya., Mukhammedov Zh.E. (2019) The internal structure of the ore-bearing zone of the Myutenbai deposit. Tashkent. *Geologiya i Mineral'nye Resursy*, **2**, 64-68. (In Russian)
- Ore deposits of Uzbekistan. (2001) Tashkent, GIDROIN-GEO Publ., 611 p. (In Russian)
- Patalakha E.I. (1985) Tectonofacial analysis. Moscow, Nedra Publ., 120 p. (In Russian)
- Prokofiev V.Yu., Safonov Yu.G., Lüders V., Borovikov A.A., Kotov A.A., Zlobina T.M., Murashov K.Yu., Yudovskaya M.A., Selektor S.L. (2019) The sources of mineralizing fluids of orogenic gold deposits of the Baikal-Patom and Muya areas, Siberia: Constraints from the C and N stable isotope compositions of fluid inclusions. *Ore Geol. Rev.*, **111**, 1-18.
- Protsenko V.F. (1975) Muruntau diafluorites and their ore content. *Mineralogiya, geokhimiya i okolorudnye metasomatity redkometal'nykh, zolotorudnykh i sur'myano-rtutnykh mestorozhdenii Srednei Azii*. Tashkent, SAIGIMS Publ., 69-76.
- 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 region. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **50**(1), 1-44. (In Russian)
- Safonov Yu.G. (1997) Hydrothermal gold deposits: prevalence – geological and genetic types-productivity of ore – forming systems. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **39**(1), 25-40. (In Russian)
- Savchuk Yu.S. (1987) Structural conditions for the placement of gold mineralization and the structure of ore bodies of the Muruntau deposit. Cand. diss.geol. and min. sci. Alma-Ata, IG AN KazSSR, 20 p. (In Russian)
- Savchuk Yu.S., Asadulin En.E., Volkov A.V., Aristov V.V. (2018a) Unique gold deposit of Muruntau (Uzbekistan): geodynamic position and origin of the ore-forming system. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **60**(5), 413-447. (In Russian)
- Savchuk Yu.S., Mukhin P.A. (1994) Evolution of Ore Processes in the Southern Tien Shan Accretional Prism (Kyzylkum Geodynamic Test Range). *Geotectonics*, **27**(6), 505-523.
- Savchuk Yu.S., Protsenko V.F., Kolesnikov A.V. (1987) Mineral complexes in the framework of Muruntau structures. *Zap. Uzb. Otd. VMO*, **40**, 30-33. (In Russian)
- Savchuk Yu.S., Volkov A.V. (2019) Large and super-large orogenic gold deposits: geodynamics, structure, genetic consequences. *Litosfera*, **19**(6), 813-833. (In Russian)
- Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Aristov V.V., Sidorov V.A., Lyamin S.M. (2018b) Structure and composition of gold reservoir of the Pavlik deposit. *Rudy i Metally*, **2**, 77-85. (In Russian)
- Shakhtyrov V.G. (1997) Tenkin deep fault: tectonic position, infrastructure, ore content. Geological structure, magmatism and minerals of North-East Asia. Magadan, SVKNII FEB RAS, p. 62-64. (In Russian)
- Shayakubov T.Sh., Tsoi R.V., Golovanov I.M., Donskoi V.M., Yakovlev V.G. (1991) Muruntau super-deep well. *Sov. Geologiya*, **10**, 10-22. (In Russian)
- Sintsov A.V. (1974) The role of the Kidali-Sukholozhsky fault in the placement of gold mineralization (Lensky gold-bearing area). *Dokl. AN SSSR*, **218**(4), 916-918. (In Russian)
- Smirnov V.I. (1976) Geology of mineral resources. Moscow, Nedra Publ., 688 p. (In Russian)
- Sokolov S.K. (1992) Reef and shelf complexes of the Proterozoic Bodaybo trough and regularities of gold mineralization placement. Cand. geol. and min. sci. diss. Moscow, IMGRE, 27 p. (In Russian)