

УДК 553.411: 553.06: 553.073.2:553.074

ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И СЕВЕРНОЙ АЗИИ

© 2024 г. И. В. Викентьев¹ *, Н. С. Бортников¹

¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

*E-mail: viken@igem.ru

Поступила в редакцию 20.05.2024 г.

После доработки 17.06.2024 г.

Принята к публикации 17.06.2024 г.

DOI: 10.31857/S0016777024050011, EDN: acbqmq

Журнал “Геология рудных месторождений” впервые публикует специальный тематический выпуск, посвященный золоторудным месторождениям. Исторически этим объектам журнал всегда уделял повышенное внимание. В постсоветское время, когда многие ограничения на публикации были сняты, а месторождения, наконец, названы своими именами (большинство месторождений золота бывшего СССР были засекречены, и статьи о них были безымянными), статьи по золоту стали одними из самых многочисленных. В то же время необходимо отдать дань уважения предшествующим поколениям специалистов по золоту: советская геологическая школа, без сомнения, была одной из крупнейших в мире. Н. И. Бородаевский, Н. В. Петровская, Ю. Г. Сафонов, М. М. Константинов и многие другие выпустили блестящие работы, которые вошли в золотой фонд науки о полезных ископаемых (Петровская, 1965; Бородаевский и др., 1974; Петровская и др., 1976; Сафонов, 1997; Константинов, 2006).

В данном выпуске акцент сделан на регионах Центральной, Восточной и Северо-Восточной Азии (России и Кыргызстана), одним месторождением представлен Урал. Золоторудные залежи локализованы здесь в террейнах разного возраста — от венда и самого начала палеозоя (Байкало-Патом, Тыва, Северный Тянь-Шань) до мезозоя (Забайкалье, Колыма) и кайнозоя (Камчатка). Геодинамическая позиция соответствующих регионов также значительно варьирует — от островодужной и окраинно-континентальной в связи с зонами субдукции до постколлизийной — зоны тектоно-магматической активизации консолидированных континентальных блоков.

Экономическое значение золоторудных месторождений в современном мире очень велико. В предыдущее столетие крупнейшими поставками золота резко выделялся бассейн Витватерсранд с его золотоносными конгломератами, давший более трети всей учтенной добычи Au человечества (Cairncross, 2021), на текущий момент большой вклад дают многочисленные “орогенные” месторождения (включая связанные с гранитами) с более 1/3 суммарной добычи и вдвое уступающий эпitherмальный тип. Примерно по 10% обеспечивают месторождения порфировые (+ скарновые) и Карлин-типа. Вклад остальных типов (колчеданного, железо-окисно-медно-золотого, Cu-Ni и др.) составляет не более первых % (напр., Torvela et al., 2022). Россия обладает рекордной минерально-сырьевой базой: запасы ее недр составляют 22% общемировых, она входит в тройку мировых лидеров по добыче и дает 10% мирового производства Au, немного уступая Китаю и Австралии, которые постепенно снижают свою добычу. Из 15453.5 т запасов Au Российской Федерации собственно золотые месторождения (“орогенные” и менее значимые эпitherмальные) составляют ~10.5 тыс. т, комплексные (колчеданные, Cu-порфировые, Cu-Ni и Cu-скарновые) ~3.8 тыс. т, а россыпи ~1.1 тыс. т (Государственный доклад ..., 2022). Вклады в добычу упомянутых типов Au примерно соответствуют долям их запасов, однако роль россыпной добычи остается высокой (около 20%, при доле запасов лишь 7.2% общего показателя).

Изучению и оценке золотых месторождений посвящены многочисленные публикации в мировой геологической литературе, которые рассматривают различные аспекты их типизации

и генезиса, в том числе вопросы геодинамической позиции, состава и строения соответствующих магматогенно-рудных систем, вклада тектоно-метаморфических процессов, минералогии и геохимии гидротермальных метасоматитов и руд, флюидного режима их формирования и др. Геолого-генетические факторы формирования золотых месторождений рассмотрены и в серии тематических сборников, публикуемых ведущими международными научными центрами (напр., *Geology of the World's Major Gold Deposits*, 2020; Torvela et al., 2022).

Различные регионы Северной Евразии — в пределах бывшего СССР — довольно интенсивно изучались в аспектах прогнозирования, поисков и оценки золоторудных месторождений, с развитием теоретических представлений об их строении и генезисе. Представления о магматогенно-гидротермальной природе золоторудных месторождений в СССР оказались уверенно проработанными на широком материале и, в том числе, поэтому — более устойчивыми к испытанию временем, чем в странах Запада, где в последние десятилетия плутоногенные типы Au-рудных систем почти полностью уступили свое место метаморфогенным. Соответственно, в мировых сводках (Pirajno, 2009; Kelley et al., 2020; *Geology of the World's Major Gold Deposits*, 2020) бесспорно магматогенными остались лишь гидротермальные месторождения: 1) порфирового семейства (порфировые, эпитермальные и малочисленные Au-скарновые); 2) также немногочисленные Au-Bi-Te, связанные с восстановленными гранитными интрузиями (RIRGS-типа, Reduced Intrusion Related Gold Systems; напр., Hart, 2007).

Наряду с метаморфогенной концепцией формирования так называемых орогенных (т. е. тесно связанных с орогенезом) золоторудных месторождений (Goldfarb, Groves, 2015; Groves et al., 2020) обоснована альтернативная — магматогенно-метаморфогенная модель их образования. Предложенная более 30 лет назад (Bortnikov et al., 1993; Бортников и др., 1994), она получила дальнейшее развитие на примере крупнейших месторождений Азии (Бортников и др., 1996, 2006, 2007; Гамянин и др., 2015, 2018; Vikent'eva et al., 2017, 2018, 2020). Эти идеи получили широкое хождение, например, они были приложены к интерпретации генезиса гигантского месторождения Мурунтау (Bierlein, Wilde, 2010).

В целом опыт России, центральноазиатских стран бывшего СССР и Китая учит, что отбрасывать плутоногенную концепцию преждевременно.

Оказалось, что для подавляющего большинства “орогенных” золоторудных месторождений при более детальной разведке (бурение, геофизические методы) устанавливается наличие глубоко расположенного гранитоидного плутона — очага, поставлявшего как компоненты гидротермального флюида, так и тепло, которое поддерживало развитие гидротермальной системы и способствовало извлечению металлов из вмещающих пород при их контактовом метаморфизме.

Прорывные результаты по рассматриваемому региону были получены геологами и по эпитермальным месторождениям. Особенно значимы данные, полученные по Северо-Востоку России, месторождениям Балей и Тасеевское (Забайкалье), Кочбулак (Кураминский хребет, Узбекистан) (напр., Коваленкер и др., 1997). В основном они считаются вулканогенными средне- и низкотемпературными, хотя в последние годы, особенно по месторождениям Чукотки и Магаданской области появились представления об участии модифицированного метеорного флюида (Николаев и др., 2013; Prokofiev et al., 2014; Волков и др., 2018; Бортников и др., 2022)

Золоторудные месторождения (или их наиболее продуктивные рудные стадии), разведанные в Центральной и Северной Азии, нередко в той или иной мере отчетливо связаны с интрузиями гранитоидов, которые являются частью одного или двух (совмещенных?) дифференцированных магматических комплексов, представленных на конкретных месторождениях. В частности, месторождение *Чармитан* в Узбекистане (Бортников и др., 1996) ассоциировано с многофазным (от монцогаббро через монцониты и сиениты до монцо-гранитов и лейкогранитов) плутоном, породы которого представляют высококалийную известково-щелочную и шошонитовую серии (Кудрин и др., 1990; Гусев, 2014). Месторождение *Кумтор* в Кыргызстане находится в Срединном Тянь-Шане вблизи “Линии В. А. Николаева”, вдоль которой трассируется цепочка монцогаббро-монцодиорит-монцонит-сиенит-гранодиорит-монцогранитных интрузий, также относимых к высококалийной известково-щелочной и шошонитовой сериям и сопровождаемых W(-Mo-Cu-Au) оруденением. Хотя непосредственную связь данного месторождения с этими интрузиями подтвердить трудно, она не исключена. Характерно, что в рудном поле этого месторождения, в контурах геохимических ореолов золота и вольфрама, установлены дайки щелочных сиенитов (бостонитов), вероятно, раннепермского возраста, а также более основных

пород (Кудрин и др., 1990; Шевкунов и др., 2023). На месторождении *Мурунтау* в Узбекистане выявлены признаки пространственного совмещения магматических пород разных комплексов, представляющих широкий возрастной интервал постколлизийного магматизма, проявленного в регионе (Костицын, 1996; Соловьев и др., 2023). Такие комплексы могут включать раннюю монцодиорит-гранодиорит-гранитную и позднюю монцодиорит-гранит-лейкогранитную интрузивные серии, причем последняя обнаруживает черты близости с одновозрастными комплексами, сопровождаемыми молибден-вольфрамовым оруденением на сопредельных территориях. Зарождение и начальное развитие магматических очагов в районе месторождения *Мурунтау* могли протекать в субдукционной обстановке, однако финальная дифференциация гранитоидной магмы в рудоносном очаге и ее кристаллизация завершились уже на постколлизийном этапе ($Rb-Sr$ -возраст 286.2 ± 1.8 млн лет, 289.5 ± 4.9 млн лет, $U-Pb$ -возраст по циркону) (Костицын, 1996; Соловьев и др., 2023).

Данный выпуск “Геологии рудных месторождений” открывается статьей М.В. Кудрина и др. (2024), посвященной золоторудному месторождению Хангалас, которое расположено в центральной части Яно-Колымского металлогенического пояса. Структура месторождения определяется протяженными минерализованными зонами дробления мощностью до 70 м, осложняющими свод и крыло антиклинальной складки, которая образована верхнепермскими терригенными породами. Рудные минералы представлены пиритом и арсенопиритом; встречаются также галенит, сфалерит, халькопирит, самородное золото, Fe -герсдорфит, тетраэдрит, аргентотеннантит. Минералообразование происходило в два этапа — золото-сульфидно-кварцевый и серебро-кварцевый. Au -кварцевые жилы формировались с участием умеренно концентрированных (~ 5 мас.%-экв. $NaCl$) гидрокарбонатных CO_2 -содержащих флюидов, при $T \sim 330-280$ °C и $P \sim 0.8$ кбар. Изотопный состав кислорода во флюиде $\delta^{18}O_{H_2O}$ (от +8.4 до +9.2‰), серы $\delta^{34}S$ сульфидов (от -2.1 до 0.6‰); изотопные отношения $^{187}Os/^{188}Os$ (от 0.2212 до 0.2338) в самородном золоте и Pb в галените ($^{206}Pb/^{204}Pb=18.0214$, $^{207}Pb/^{204}Pb=15.5356$, $^{208}Pb/^{204}Pb=38.2216$), а также геохимические особенности пирита и арсенопирита позволяют предположить участие в рудообразовании источников из субконтинентальной литосферной мантии и в меньшей мере — коровых резервуаров. Формирование золоторудных тел месторождения связано

с завершением прогрессивных взбросо-надвиговых деформаций, происходивших ~ 137 млн лет назад в ходе позднеорогенных процессов.

В статье В.М. Саватенкова с соавторами (Саватенков и др., 2024) приведены результаты изучения Верхнекаралонского золоторудного месторождения в Муйском районе Байкало-Витимского складчатого пояса в Забайкалье. За прошлый век в долине реки Каралон было добыто не менее 17 т золота. Детально рассмотрены $Pb-Pb$ и $Rb-Sr$ изотопные системы Верхнекаралонского золото-кварцевого и ряда других золоторудных месторождений. Для каждой из выявленных групп рудной минерализации установлен различный вклад мантийного и древнекорового источников. Установлены перестройка $Rb-Sr$ системы в изученных породах и минералах Верхнекаралонского месторождения и перераспределение изотопов Pb в галените Водораздельной рудной зоны Каралонского рудного поля на рубеже 290–250 млн лет. Изотопные характеристики Pb в галените месторождения указывают на его генетическую связь с рудовмещающими гранитами, возраст которых ~ 600 млн лет может быть близок возрасту наиболее раннего этапа формирования золото-кварцевой минерализации. Сделан важный вывод, что древнекоровый источник является общим для ведущих золоторудных месторождений Северного Забайкалья; он характеризуется параметрами континентальной коры Сибирского кратона на период 500–600 млн лет.

В работе (Колпаков и др., 2024) проведен сравнительный анализ россыпей и коренных месторождений золото-сульфидно-кварцевой и золотосодержащей Mo -порфировой формаций Давенда-Ключевского рудного узла. Судя по морфологии золота, преобладают россыпи ближнего сноса; пробности россыпного и рудного золота близки. В россыпях, образующих ореол вокруг Ключевского месторождения, преобладает золото с пробностью 900–950; оно часто содержит включения пирита, галенита и минералов Bi (тетраимит, теллуриды Bi , Bi -содержащие сульфосоли, самородный Bi , висмутин), реже — арсенопирита, халькопирита, блеклой руды, образуя с ними сростки. В автохтонных россыпях, расположенных вокруг месторождения Давенда, преобладает золото с пробностью более 950. Третий тип золота (пробность 850–900) менее распространен в вышеупомянутых россыпях, но зачастую преобладает в россыпях иных рек.

Статья (Кудаева и др., 2024) посвящена необычному $Au-Te-Se$ эпитезмальному вулканогенному

типу, представленному Озерновским месторождением на Камчатке, где к настоящему времени наблюдается “эпитермальный бум” — начата золотодобыча и идет переоценка многих рудопроявлений (Бортников, Толстых, 2023). Руды располагаются в линейных зонах вторичных кварцитов в вулканитах неогена и представлены трубками гидротермальных кварцевых брекчий и линейными штокверками с вкрапленностью рудных минералов — сульфидов, теллуридов и селенидов. На верхнем горизонте месторождения обнаружен новый тип золотых руд. Основным минералом золота в рудной ассоциации является малетойваямит ($\text{Au}_3\text{Se}_4\text{Te}_6$), образующий мелкие включения в селенистом самородном теллуре. С ними ассоциируют редкие минералы — бамболлаит ($\text{Cu}_{1-x}(\text{Se}, \text{S}, \text{Te})_2$), сульфосоли подгрупп голдфилдита и усталецита. Рудная минерализация могла образоваться в верхней части кипящей гидротермальной системы в результате смешения восходящего потока гетерогенного водно-парового флюида с обогащенными кислородом поверхностными водами.

В статье М.Е. Притчина и др. (2024) приведены первые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировки слюды и амфибола из околорудных и рудных минеральных ассоциаций Светлинского и Кочкарского золоторудных месторождений — крупнейших на Урале (уступают только Березовскому). Многие детали генезиса для них остаются дискуссионными, поэтому возрастные ограничения для продуктивных минеральных ассоциаций являются ключевыми. Кочкарское и Светлинское месторождения расположены в Восточно-Уральской мегазоне недалеко друг от друга, но имеют ряд отличий (Бортников, 2006; Bortnikov, Vikentyev, 2013; Vikent'eva, Bortnikov, 2015): первое представлено в основном высокомышьяковистыми кварц-сульфидными жилами, а второе — прожилково-вкрапленными зонами золото-теллуридной минерализации. Оценки возраста соотнесены с периодами активизации тектонических и тектоно-магматических процессов, реконструированных на Урале (Vikentyev et al., 2017). Наиболее интенсивное деформационное событие на Урале, коллизия континент/континент, произошло в интервале 313–288 млн лет назад, вблизи границы карбона и перми. Оно охватывает различные геологические события, включая внедрение синорогенных гранитов (Sazonov et al., 2001), перерыв в осадконакоплении и формирование регионально распространенных на Урале кор выветривания (напр., Новоселов и др., 2019). Коллизия на Урале сопровождалась массовым гранитообразованием. Средневзвешенное значение возраста для Светлинского месторождения составляет

276 ± 2 млн лет, для Кочкарского 284 ± 2 млн лет, отвечая начальным фазам постколлизийного этапа. Предполагается, что становление обоих месторождений является следствием процессов гранитизации при формировании Кочкарского антиклинария.

В важной сводке (Тагиров и др., 2024) приведены результаты критической оценки экспериментальных данных по устойчивости гидроксо- и хлоридных комплексов Au(I) . На основании полученных значений энергии Гиббса $\text{AuOH}_{(p-p)}$, $\text{AuCl}_{(p-p)}$ и AuCl_2 определены стандартные значения термодинамических свойств и параметры модели НКФ (Хелгесон—Киркхэм—Флауэрс) этих комплексов. Рассчитана растворимость Au в хлоридных флюидах вплоть до 1000°C , 5000 бар. В качестве геологического приложения полученных данных выполнен модельный расчет отложения самородного золота остывающим хлоридно-сульфидным флюидом с оценкой изменения состава флюида, последовательности образования твердых фаз и изменения пробности золота. Надо отметить, что рост начального отношения $(W/R)_0$ (скорости просачивания) приводит к снижению температуры отложения самородного золота. Например, результатом роста $(W/R)_0$ с 10 до 10^4 является снижение температуры отложения самородного золота на 100°C . Таким образом, при высоких значениях отношения $(W/R)_0$ (высокие скорости подъема флюида) Au дольше удерживается в растворенной форме, и отложение минералов золота происходит при более низких температурах. Такой режим отвечает подъему флюида в открытых трещинах. Другим фактором, приводящим к снижению температуры образования собственных минералов Au, может служить его захват отлагающимися сульфидами. В настоящее время установлены формы нахождения и предельные содержания “невидимого” золота в сульфидах разного состава в широком диапазоне температуры (напр., Викентьев и др., 2015; Trigub et al., 2017; Filimonova et al., 2020 — пирит, Kovalchuk et al., 2024 — мышьяковистый пирит и марказит, Filimonova et al., 2019 — сфалерит, Tagirov et al., 2023 — минералы системы Cu-Fe-S).

Таким образом, на большинстве из рассмотренных золоторудных месторождений или предполагается тесная связь минерализации с интрузивным магматизмом (чаще гранитоидным), или она не исключена, поскольку устанавливается пространственная близость золотых проявлений к гранитоидным штокам, а возраст минерализации является несколько более поздним, чем сами интрузивы.

Действительно, по совокупности признаков многие золоторудные, а также W—Au, W—Mo—Au, Bi—Au, Te—Au месторождения Центральной и Северной Азии относятся к плутоногенному (intrusion-related) постколлизийному типу. Обычно для большинства золоторудных месторождений геохимическими и изотопно-геохимическими подходами получают смешанные признаки их резервуаров, а во многих случаях устанавливается их тесная пространственная и временная связь с орогенным (коллизийным) гранитоидным магматизмом. Но под влиянием современного общемирового тренда, своего рода увлечением, большинство золоторудных месторождений в литературе обозначаются как “орогенные”, при этом вклад в их образование магматических источников, даже если он просматривается, не афишируется.

В главном фокусе настоящего тематического выпуска оказались плутоногенные золоторудные месторождения, или золотые рудопроявления, связь которых с интрузивными телами весьма вероятна. Внести ясность могло бы знание временных соотношений разных геологических событий. Но, к сожалению, надо констатировать, что возможности датирования рудных процессов изотопно-геохимическими методами пока еще имеют существенные ограничения: 1) разработанные методы в основном применимы к минералам (мусковит, кальцит, пирит, арсенопирит и нек. др.), синхронность которых с самородным золотом и Au—Ag теллуридами — основными носителями золота — не доказана, а лишь предполагается; 2) определяемые этими способами возрасты имеют значительную ошибку (первые млн лет, иногда > 10 млн лет). В связи с этим при генетических, особенно возрастных, интерпретациях, по-прежнему остаются главными детальными геологическими наблюдениями, без которых проведение дорогостоящих изотопно-геохимических работ является зачастую малооправданным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бородаевский Н.И., Петровская Н.В., Тимофеевский Д.А. Эндогенная зональность золоторудных полей и месторождений. Зональность гидротермальных рудных месторождений. М., 1974. Т. 2. С. 86—122.
- Бортников Н.С. Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология руд. месторождений. 2006. № 1. С. 3—28.
- Бортников Н.С., Толстых Н.Д. Эпитермальные месторождения Камчатки, Россия // Геология руд. месторождений. 2023. Т. 65. № 7. С. 722—752.
- Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Раздолина Н.В. Двойственная природа флюида в мезотермальной рудообразующей системе месторождения золота Чармитан (Западный Узбекистан) // Докл. РАН. 1994. Т. 336. № 4.
- Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Раздолина Н.В. Генезис золото-кварцевого месторождения Чармитан (Узбекистан) // Геология руд. месторождений. 1996. № 3. С. 238—257.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В. и др. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Неждановского золоторудного месторождения, Саха-Якутия, Россия // Геология руд. месторождений. 2007. Т. 49. № 2. С. 99—45.
- Бортников Н.С., Волков А.В., Савва Н.Е. и др. Эпитермальные Au—Ag—Se—Te месторождения Чукотки (Арктическая зона России): металлогения, минеральные парагенезисы, флюидный режим // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 4. С. 522—549.
- Викентьев И.В. Невидимое и микроскопическое золото в пирите: методы исследования и новые данные для колчеданных руд Урала // Геология руд. месторождений. 2015. Т. 57. № 4. С. 267—298.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю. и др. Геохимические особенности эпитермальных Au—Ag месторождений Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (Северо-Восток России) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 6. С. 1—20.
- Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С. Аркачан — новый золото-висмут-сидерит-сульфидный тип месторождений в оловоносном Западно-Верхоянском районе (Якутия) // Геология руд. месторождений. 2015. Т. 57. № 6. С. 513—545.
- Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Викентьева О.В. Благороднометалльная минерализация Адыча-Тарынской металлогенической зоны: геохимия стабильных изотопов, флюидный режим и условия рудообразования // Геология и геофизика, 2018. № 10. С. 1586—1605. DOI: 10.15372/GiG20181006.
- Государственный доклад “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году”. М.: ФГБУ “ВИМС”, 2022. 623 с.
- Гусев А.И. Петрология и геохимия Кошрабадского интрузива золоторудного поля Зармитан (Западный Узбекистан) // Advances in Current Natural Sciences. 2014. № 9. Р. 78—83.
- Коваленкер В.А., Сафонов Ю.Г., Наумов В.Б., Русинов В.Л. Эпитермальное золото-теллуридное

- месторождение Кочбулак (Узбекистан) // Геология руд. месторождений. 1997. Т. 39. № 2. С. 127–152.
- Колпаков В.В., Неволько П.А., Фоминых П.А. Минералогия и коренные источники золота Давенда-Ключевского рудно-россыпного узла (Восточное Забайкалье) // Геология руд. месторождений. 2024. № 5. С.
- Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 358 с.
- Костицын Ю.А. Rb–Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Магматизм, метаморфизм и рудообразование // Геохимия. 1996. № 12. С. 1123–1138.
- Кудаева Ш.С., Козлов В.В., Скильская Е.Д. и др. Новый тип золотоносной минерализации на Озерновском Au–Te–Se эпитегрмальном месторождении (Центральная Камчатка, Россия) // Геология руд. месторождений. 2024. № 5. С.
- Кудрин В.С., Соловьев С.Г., Ставинский В.А., Кабардин Л.Л. Золото-медно-молибден-вольфрамовый рудный пояс Тянь-Шаня // Геология руд. месторождений. 1990. № 4. С. 13–26.
- Кудрин М.В., Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И. и др. Орогенное золоторудное месторождение Хангалас, Яно-Колымский металлогенический пояс (Северо-Восток России): структура, минеральный и изотопный (O, S, Re, Os, Pb, Ag, Ne) состав руд, флюидный режим и условия рудообразования // Геология руд. месторождений. 2024. № 5. С.
- Николаев Ю.Н., Прокофьев В.Ю., Аплеталин А.В. и др. Золото-теллуридная минерализация Западной Чукотки: минералогия, геохимия и условия образования // Геология руд. месторождений. 2013. Т. 55. № 2. С. 114–144.
- Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Садыков С.А., Викентьев И.В. Железная шляпа Юбилейного колчеданного месторождения (Южный Урал) – свидетельства придонного преобразования // Литология и полезн. ископ. 2019. № 1. С. 90–100.
- Петровская Н.В., Сафонов Ю.Г., Шер С.Д. Формации золоторудных месторождений // Рудные формации эндогенных месторождений. М.: И Наука, 1976. Т. 2. С. 3–110.
- Петровская Н.В. О систематике минеральных ассоциаций, возникающих при гидротермальном рудообразовании // Геология руд. месторождений. 1965. Т. 7. № 1. С. 3–13.
- Притчин М.Е., Кисин А.Ю., Викентьева О.В. и др. Ag–Ag датирование гидротермальных процессов на крупных золоторудных месторождениях Кочкарского антиклинория (Южный Урал, Россия) // Геология руд. месторождений. 2024. № 5. С.
- Саватенков В.М., Рыцк Е.Ю., Алексеев И.А., Васильева И.М., Гороховский Б.М. О возрасте и источниках малосульфидного золото-кварцевого оруденения Каралонского рудного поля (Северное Забайкалье, Россия): результаты изотопно-геохимических (Rb–Sr, Pb–Pb) исследований // Геология руд. месторождений. 2024. № 5. С.
- Сафонов Ю.Г. Гидротермальные золоторудные месторождения: распространенность – геолого-генетические типы – продуктивность рудообразующих систем // Геология руд. месторождений. 1997. № 1. С. 25–40.
- Соловьев С.Г., Кряжев С.Г., Семенова Д.В., Калинин Ю.А., Бортников Н.С. Длительная эволюция магматогенно-рудной системы месторождения золота Мурунтау (Западный Узбекистан, Тянь-Шань): свидетельство изотопного U–Pb-возраста циркона (метод LA-ICP-MS) из гранитоидов Сардаринского (Сарыктинского) плутона // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 1. С. 29–38.
- Тагиров Б.Р., Акинфиев Н.Н., Зотов А.В. Комплексообразование Au(I) в хлоридных гидротермальных флюидах // Геология руд. месторождений. 2024. № 5. С.
- Шевкунов А.Г., Корницкий А.И., Башкиров А.П., Айдаркулов Т.Н. Месторождение золота Кумтор (Срединный Тянь-Шань, Кыргызстан) и применение трехмерного моделирования в программе Leapfrog Geo (Seequent) при проведении геологоразведочных работ // Руды и металлы. 2023. № 2. С. 18–42.
- Bierlein F.P., Wilde A.R. New constraints on the polychronous nature of the giant Muruntau gold deposit from wall-rock alteration and ore paragenetic studies // Australian J. Earth Sci. 2010. V. 57. P. 839–854.
- Bortnikov N.S., Gamyarin G.N., Naumov V.B., Nosik L.P. The Nezhdaninskoye mesothermal gold deposit, Russia: Ore-forming fluid and deposition environment // Current Research in Geology Applied to Ore Deposits. Univ. Granada. Granada, Spain, 1993. P. 419–422.
- Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. Endogenous metallogeny of the Urals. In: Mineral deposit research for a high-tech world; Jonsson E., Ed.; Uppsala, 2013. V. 4. P. 1508–1511.
- Cairncross B. The Witwatersrand Goldfield, South Africa // Rocks & Minerals. 2021. V. 96. P. 296–351.
- Filimonova O.N., Trigub A.L., Tonkacheev D.E. et al. Substitution mechanisms in In, Au, and Cu-bearing sphalerites studied by X-ray absorption spectroscopy of synthetic and natural minerals // Mineral. Mag. 2019. V. 83. P. 435–451.
- Filimonova O.N., Tagirov B.R., Trigub A.L. et al. The state of Au and As in pyrite studied by X-ray absorption

- spectroscopy of natural minerals and synthetic phases // *Ore Geol. Rev.* 2020. V. 121. Art. № 103475.
- Geology of the World's Major Gold Deposits and Provinces / Eds: R.H. Sillitoe, R.J. Goldfarb, F. Robert, S.F. Simmons // *Soc. Econ. Geologists, Spec. Publ.* 2020. V 23.
- Goldfarb R.J., Groves D.I. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos.* 2015. V. 233. P. 2–26.
- Groves D.I., Santosh M., Deng J. et al. A holistic model for the origin of orogenic gold deposits and its implications for exploration // *Mineral. Deposita.* 2020. V. 55. P. 275–292.
- Hart C.J.R. Reduced intrusion-related gold systems / In: Goodfellow, W.D. (ed.) *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods* // *Geol. Assoc. Canada, Mineral Deposits Division, Spec. Publ.* 2007. V. 5. P. 95–112.
- Kelley K.D., Spry P.G., McLemore V.T., Fey D.L., Anderson E.D. Alkaline-type epithermal gold deposit model. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–R. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2020. 74 p. URL: <https://doi.org/10.3133/sir20105070R>
- Kovalchuk E.V., Tagirov B.R., Borisovsky S.E. et al. Gold and arsenic in pyrite and marcasite: hydrothermal experiment and implications to natural ore-stage sulfides // *Minerals.* 2024. V. 14. № 2. Art. No. 170.
- Pirajno F. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems.* Springer Netherlands, 2009. 1252 p.
- Prokofiev V. Yu., Nikolaev Y.N., Apletalin A.V. et al. Au-Te Mineralisation of Sentyabr'sky Gold Deposit, North-eastern Russia // *Acta Geologica Sinica.* 2014. V. 88. P. 795–797.
- Sazonov V.N., van Herk A.H., de Boorder H. Spatial and temporal distribution of gold deposits in the Urals // *Econ. Geol.* 2001. V. 96. P. 685–703.
- Tagirov B.R., Filimonova O.N., Trigub A.L. et al. The state of gold in phases of the Cu-Fe-S system: In situ X-ray absorption spectroscopy study // *Geosci. Front.* 2023. V. 14. № 3. № 101533.
- Torvela T., Lambert-Smith J.S., Chapman R.J. (eds) *Recent Advances in Understanding Gold Deposits: from Orogeny to Alluvium.* Geological Society, London, Spec. Publ. 2022. V. 516.
- Trigub A.L., Tagirov B.R., Kvashnina K.O. et al. X-ray spectroscopy study of the chemical state of “invisible” Au in synthetic minerals in the Fe-As-S system // *Am. Mineral.* 2017. V. 102. P. 1057–1065.
- Vikent'eva O.V., Bortnikov N.S. The large Svetlinsk Au-Te deposit, South Urals: telluride mineralization for genetic reconstructions // *Proc. 13th Biennial SGA Meeting, Nancy, France.* 2015. P. 851–854.
- Vikent'eva O.V., Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. et al. The Berezovsk giant intrusion-related gold-quartz deposit, Urals, Russia: Evidence for multiple magmatic and metamorphic fluid reservoirs // *Ore Geology Reviews.* 2017. V. 91. P. 837–863.
- Vikent'eva O.V., Prokofiev V.Y., Gamyagin G.N., Goryachev N.A., Bortnikov N.S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // *Ore Geology Reviews.* 2018. V. 102. P. 240–259. URL: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.09.004>
- Vikent'eva O., Prokofiev V., Borovikov A., Kryazhev S. et al. Contrasting Fluids in the Svetlinsk Gold-Telluride Hydrothermal System, South Urals // *Minerals.* 2020. 10, 37. DOI:10.3390/min10010037
- Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Molos-hag V.P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. *Ore geology* // *Ore Geol. Rev.* 2017. V. 85. P. 30–63.

GOLD DEPOSITS OF CENTRAL AND NORTH ASIA

I. V. Vikentyev, N. S. Bortnikov

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS
Staromonetnyi per., 35, Moscow, 119017 Russia*