

Золото в фосфоритах: формы накопления и практическая значимость

А. Ф. Георгиевский, В. М. Бугина

Российский университет дружбы народов (РУДН), 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6,
e-mail: georgievskiy-af@rudn.ru

Поступила в редакцию 20.05.2023 г., принята к печати 21.06.2023 г.

Объект исследований. В статье рассматривается золотосодержание современных (океанических) и древних промышленных типов фосфоритовых руд, включая афанитовые, микрозернистые, зернистые, желваковые, ракушечные и карстовые. **Цель исследования** состоит в объективной оценке способности фосфоритов накапливать золото до промышленных концентраций. Этот вопрос в последние годы активно обсуждается в геологическом сообществе в связи с появлением высокоточных методов исследования вещества. Фактическим *материалом* послужили многочисленные отечественные и зарубежные публикации, фондовые источники, а также авторские данные, собранные за тридцатилетний период изучения фосфоритов. **Результаты** обобщения и анализа собранных материалов показали, что золото в фосфоритах присутствует крайне неравномерно и не является обязательным их компонентом. По размерности оно видимое и нанодисперсное. По происхождению – полигенное, но обычно смешанного характера: седиментационное (обломочное), диагенетическое (хемогенно-сорбционное), а также эпигенетическое, связанное с наложенными процессами магматической и гидротермальной деятельности. Золотины обломочного золота со следами окатывания, остальные – сложной конфигурации. Средой-носителем и осадительницей золота для аутигенных его форм служат углеродисто-фосфатная и глинисто-глауконитовая минеральные матрицы. Среди них основным сорбентом металла является битумоидная фракция органического вещества, которое заключено в фосфоритах. В гидротермально измененных породах главным концентратором дисперсного золота становится пирит. **Выводы.** Условия для возможного совместного накопления фосфатов и золота проявлены в черносланцевых бассейнах, а также на шельфовом мелководье с глауконит-песчаными фациями. Однако из-за значительных различий природных особенностей золота и фосфатов промышленные их скопления формируются обособлено друг от друга. Об этом свидетельствуют незначительные накопления фосфора в рудах месторождений золота черносланцевых формаций, а также малозначимые его концентрации в промышленных фосфоритовых пластах фосфоритосодержащих бассейнов. Для золота фосфориты выступают только в роли временных коллекторов, продуктивность которых зависит от сочетания многих, часто случайных и мало связанных факторов.

Ключевые слова: золото, типы фосфоритов, условия накопления, битумоидные фракции, практическое значение

Gold in phosphorites: Accumulation forms and practical significance

Alexey F. Georgievskiy, Viktoriya M. Bugina

Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklay st., Moscow 117198, Russia,
e-mail: georgievskiy-af@rudn.ru

Received 20.05.2023, accepted 21.06.2023

Research subject. The gold-bearing potential of modern (oceanic) and ancient industrial types of phosphorite ores, including aphanitic, microgranular, granular, nodular, shell and karst. **Aim.** To assess the ability of phosphorites to accumulate gold to industrial concentrations. This issue has been actively discussed in the geological community in recent years due to the advent of high-precision methods for studying matter. **Methods.** Russian and foreign publications, unpublished geological data, as well as the authors' data collected over a 30-year period of studying phosphorites. **Results and discussion.** In the section, 14 packs of rocks were identified, which are represented by 6 lithological types of secondary dolomites. Their distribution along the section, along with the presence of characteristic faunal remains, made it possible to establish three members in the section, which can be correlated with the Katian, Hirnantian, and Ruddanian stages of the General Stratigraphic Scale. **Conclusion.** Conditions for the possible joint accumulation of phosphates and gold are manifested in black shale basins, as well as in shelf shallow waters with glauconite-sand sediments. However, due to significant differences in the natural features of gold and phosphates, their industrial clusters are formed separately from each other. This is evidenced by the insignificant accumulation of phosphorus in the ores of gold deposits of black shale formations,

Для цитирования: Георгиевский А.Ф., Бугина В.М. (2024) Золото в фосфоритах: формы накопления и практическая значимость. *Литосфера*, 24(1), 115-129. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2024-24-1-115-129>

For citation: Georgievskiy A.F., Bugina V.M. (2024) Gold in phosphorites: Accumulation forms and practical significance. *Lithosphere (Russia)*, 24(1), 115-129. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2024-24-1-115-129>

as well as its low-quality concentrations in industrial phosphorite beds of phosphorite-bearing basins. For gold, phosphorites are only temporary collectors, the productivity of which depends on the combination of many, frequently random and slightly related factors.

Keywords: gold, phosphorite types, accumulation conditions, bitumoid fractions, practical significance

Вопрос о связи золота с фосфоритами стал активно обсуждаться геологами после того, как в начале века появились высокоточные методы исследования вещества, которые позволили выявлять микропримеси на уровне наночастиц и концентрации элементов в количествах 10^{-5} – 10^{-6} %. До этого столетний опыт химического производства фосфорных минеральных удобрений в разных странах мира не способствовал появлению у ученых особого интереса к проблеме золотоносности фосфоритов. Тем более что детальные геохимические исследования этих пород, выполненные в виде докторских диссертаций, монографий и сборников научных статей, убедительно подтверждали неактуальность проведения работ по обсуждаемой тематике (Блисковский, 1983; Яншин и др., 1979; Занин, 1992; Кабанова, Плотнокова, 1973; Холодов, Блисковский, 1976). Вместе с тем хорошо известны обстановки, где теоретически может происходить формирование как фосфорной, так и золотой осадочной минерализации. Это фации бассейнов черносланцевой седиментации (черносланцевые формации), а также шельфовые фации глауконит-песчаного состава, в разной степени обогащенные россыпными минералами.

Золото в фосфоритоносных отложениях черносланцевых формаций

По существующим представлениям под черносланцевой формацией понимается комплекс парагенетически связанных пород, обогащенных измененным углеродистым веществом преимущест-

венно сапропелевого ряда. По содержанию $C_{орг}$ (мас. %) выделяют низкоуглеродистые (1–3%), углеродистые (3–10%) и высокоуглеродистые (>10%) группы (формации) черносланцевых пород разного литологического состава (Юдович, Кетрис, 1988). По данным (Юдович, Кетрис, 1994; Ketris, Yudovich, 2009), все основные литотипы черных сланцев заметно обогащены фосфором (табл. 1).

В свою очередь, ориентируясь на количество углеродистого вещества, а также на характерное для черносланцевых толщ флишеподобное строение разрезов, в качестве полноправных членов таких образований следует рассматривать породные комплексы фосфоритоносных бассейнов эдиакарской (вендской) эпохи и формации Фосфория пермского возраста (США).

В эдиакарских афанитовых фосфоритах максимальные содержания $C_{орг}$ (32 мас. %) отмечены в нагорье Сангилен Республики Тыва. Заметно уступают по этому показателю, но также обогащены органическим веществом руды месторождений Окино-Хубсугульского бассейна (ОХБ) в пограничной зоне России и Монголии. Здесь значения $C_{орг}$ варьируются в карбонатных фосфоритах от первых долей до 1 мас. %, а в кремнистых и глинистых литотипах достигают 6 мас. %. По составу битумоидов органическое вещество соответствует сапропелевому типу. В породах оно находится в дисперсно-рассеянной форме, придавая им темно-серую и черную окраску. Очень часто дисперсные углеродистые частицы концентрируются в фосфате, образуя хлопья, сгустки либо равномерно рассеянную сыпь. Нередко пигментация

Таблица 1. Содержание фосфора в основных типах пород черносланцевых формаций (Юдович и др., 2020)

Table 1. Phosphorus content in the main types of rocks of the black shale formations (Yudovich et al., 2020)

Литотипы черных сланцев	Фосфор, г/т
Кремнистые, терригенные и туфогенные	1200 ± 100
Карбонатные	710 ± 700

фосфатных выделений столь велика, что в шлифах они практически не пропускают свет (Георгиевский, Бугина, 2019).

Бассейн формации Фосфория в Скалистых горах США – еще один пример развития фосфоритоносных черносланцевых толщ. Среднее значение для $C_{\text{орг}}$ фосфоритов оценивается в 2.1 мас. %, в том числе для верхней продуктивной пачки – 1.75 мас. % и для нижней – 2.31 мас. %, достигая на отдельных месторождениях 10–15 мас. %. В ряде случаев породы содержат нефть в количестве до 30 л/т, и многие исследователи рассматривают формацию Фосфория в качестве источника углеводородов для нефтяных месторождений бассейна Бигхорн (Бушинский, 1969; Moore-Nall, Tsosie, 2017; Claypool et al., 1978).

Связь золота с черносланцевыми формациями – это общеизвестный факт, который детально рассматривается в учебниках по рудной геологии при описании таких гигантских месторождений, как Мурантау в Узбекистане, Бақырчик в Казахстане, Карлин в США, Броккен Хилл в Австралии, Майское, Олимпиада, Наталкинское, Сухой Лог в России. Если в качестве модельного объекта брать месторождение Сухой Лог, то характерной его чертой являются гигантские запасы металла (>1100 т), низкие концентрации в рудах золота (2.31 г/т), карбонатно-алевролитоглинистый состав отложений с содержаниями $C_{\text{орг}}$ 0.8–2.5 мас. % при максимальных его значениях до 7 мас. % (Беневольский, Иванов, 1999; Вуд, Попов, 2006; Дьячков и др., 2011; Иванов и др., 2022; Карпенко и др., 2008; Ненахов и др., 2021; Белницкая и др., 2015; Фомичев, 2006).

Приведенных данных по фосфорному и золотому оруденению черносланцевых комплексов достаточно, чтобы отметить принципиальную особенность их взаимоотношений, а именно: несмотря на внешние сходства таких образований (характерная цветовая гамма, обогащенность углеродистым веществом, близкий литологический состав матрицы, флишoidalный характер разреза), месторождения фосфоритов и золота формируются обособленно друг от друга. На это указывают, с одной стороны, незначительные накопления фосфора в черносланцевых золотоносных рудах, концентрации которого не превышают уровня нескольких кларков, а с другой стороны – мизерные содержания золота, выявленные при изучении афанитовых фосфоритов ОХБ (0.01–0.21 г/т). Еще больше подтверждают сказанное данные по фосфоритам формации Фосфория, широко известные своими аномальными концентрациями самых различных микропримесей (Cu, Zn, Pb, As, J, Co, Li, Sr, Ni, V, Cr, Y, La, Ga, Zr, Mo, B, U, V). Однако среди последних не зафиксировано четких признаков золота (Бушинский, 1969; McKelvey et al., 1986; Maughan, 1983; Lillis P.G., Selby D., 2013; Piper et al., 2007; Piper, Medrano, 1994; Perkins, Foster, 2004; Wardlaw, Collin-

son, 1986). Иными словами, в теоретическом плане обстановки черносланцевых бассейнов внешне выглядят благоприятными для совместного сонахождения золота и фосфатов, но в действительности картина резко обратная. Причины такого явления разнообразны, но, очевидно, во главу угла следует поставить различия в геоструктурной приуроченности рудоносных толщ. В частности, формирование месторождения Сухой Лог происходило в рифей-вендском рифтогенном прогибе с образованием углеродистых золотоносных илов, которые накапливались в условиях стагнации придонных вод и подтока глубинных флюидов. Последующие процессы метаморфизма на завершающих этапах рифтогенеза приводили к перегруппировке металла и возникновению рудных залежей (Анкушева и др., 2019; Вуд, Попов, 2006; Дьячков и др., 2011; Иванов и др., 2022; Карпенко и др., 2008; Лаверов и др., 1999, 2000; Ненахов и др., 2021; Белницкая и др., 2015; Фомичев, 2006).

Связь с рифтовыми структурами прослеживается и для черносланцевой толщи ОХБ, но связь эта сильно опосредованная. В отличие от предыдущего случая бассейн приурочен к шельфовой эдиакарской карбонатной платформе Тувино-Монгольского микроконтинента, в истории которого рифтовый этап развития завершился в верхнем рифее, еще до появления фосфоритов. При этом площадь одного из бывших рифтов была “унаследована” Окино-Хубсугульским фосфоритоносным бассейном (Ильин, Волков, 1978; Ильин, 2004). Отголосками прошлого рифтового режима стали разнонаправленные конседиментационные тектонические движения, сформировавшие сложно построенную блоковую структуру морского дна бассейна (Георгиевский, Бугина, 2019). В прогибах его рельефа накапливались богатые афанитовые фосфориты черносланцевого облика, а на возвышенных участках развивались рифовые фации бактериально-водорослевых, а также песчаных и обломочных фосфоритов невысокого качества. Если для месторождения Сухой Лог участие глубинного вещества в рудонакоплении – факт доказанный (Анкушева и др., 2019; Гребенщикова, Матель, 1998; Лаверов и др., 1999, 2000), то для фосфоритов ОХБ в этом отношении имеются только косвенные данные. Бесспорным показателем проявления магматических процессов служат закартированные девонские интрузивные тела гранитоидов на Бурэнханском месторождении (юг ОХБ) и дайковые комплексы Харанурского месторождения на севере бассейна. С точки зрения золотоносности черносланцевых фосфоритовых толщ данные образования имеют принципиальное значение. На Харануре, где сами “черносланцевые” породы практически не содержат Au, в серицитизированных и березитизированных дайках количество металла в пиритах достигает 7.4 г/т.

В фосфоритах Бурэнханского месторождения золото обнаружено в форме разрозненных наночастиц, фиксация которых стала возможной только после механической активации пород (Базарова и др., 2009). В этом случае возникает эффект кавитации, вследствие чего достигается укрупнение наночастиц металла до тонкодисперсного (электронно-микроскопически видимого) состояния (Ненахова и др., 2018). Появление в буренханских фосфоритах золота можно расценивать по-разному: и как результат его сорбции фосфатом в седиментационно-диагенетическую стадию формирования этих пород, и как результат воздействия на них гидротермальных растворов при внедрении гранитоидных интрузий. Однако с точки зрения золотоносности в обоих вариантах эффективность этих процессов явно незначительна, и поэтому нет смысла заострять на них внимание. Вместе с тем остается открытым вопрос о механизме накопления золота в фосфоритах Бурэнханского месторождения. Определенную ясность по этому вопросу могут дать материалы, опубликованные в работах (Брюханов, 2015; Будяк и др., 2015; Варшал и др., 1995; Евсеев и др., 2008; Кизильштейн, 2017, 2000; Марченко, 2017; Попова и др., 2002; Юдович и др., 1990; Юдович, 2000). В них обращается внимание на концентрацию золота в битумоидных фракциях органического вещества черносланцевых золоторудных формаций. По данным (Будяк и др., 2015), битумоиды, выделенные из руд месторождения Сухой Лог (0.011%), содержат золото в пределах 0.68–2.17 г/т. Количество битумоидов в органическом веществе относительно слабо измененных фосфоритоносных пород ОХБ колеблется от 0.024 до 0.031% (0.028%) (Георгиевский, Бугина, 2019). Сопоставление элементного состава спиртобензольной фракции пород Сухого Лога и ОХФ приведено в табл. 2. В ней же даны значения битумоидного коэффициента для этих образований.

Как видно из таблицы, по приведенным параметрам битумоиды сравниваемых объектов в целом сопоставимы. Это, в свою очередь, позволяет

предполагать присутствие Au в буренханских рудах как результат фиксации его битумоидной частью органического вещества.

Значительно больший интерес представляет небольшое по масштабам фосфоритовое проявление Гремучий в Приамурье (Черепанов и др., 2019). Здесь брекчиевые фосфориты с содержанием P_2O_5 от 5 до 27 мас. %, заключены в сланцево-доломит-известняковой толще ($C_{орг}$ 0.6–2.1 мас. %) вендраннекембрийского возраста и, помимо редких земель и урана, обогащены золотом. Золото установлено на электронно-микроскопическом уровне с концентрациями по отдельным пробам до 14 г/т. Важно подчеркнуть, что, помимо фосфоритов, “золотят” и вмещающие их известняки. Причем концентрации металла в известняках по ряду проб превышают его содержания в фосфоритовых рудах (до 17 г/т). Из сказанного становится очевидным, что для данного объекта золотоносность носит наложенный характер и напрямую не связана с накоплением фосфатов. “Виновником” золотоносности пород, скорее всего, является ордовикский габбро-гранитоидный массив, расположенный в непосредственной близости от фосфоритового проявления Гремучий.

Таким образом, напрашивается вывод, что фосфоритовые черносланцевые фации малоприспособны для самостоятельного серьезного (промышленного) накопления золота.

Золото в фосфоритоносных шельфовых фациях глауконит-песчаного состава

Сонахождение фосфоритов и глауконитов в обстановках шельфового мелководья обычно объясняется генетическими причинами (Юдович и др., 2018). Однако часто характерной чертой таких шельфовых фаций является также развитие золотофосфатной минерализации со сложными причинно-следственными связями. Золото видимое (кластогенное) либо дисперсное, с признаками аутигенного происхождения. Фосфат пред-

Таблица 2. Битумоидный коэффициент и элементный состав спиртобензольного битумоида фракции битумоидов ОХБ и месторождения Сухой Лог

Table 2. Bitumoidal coefficient and elemental composition of the alcohol-benzene bitumen fraction of the Okino-Hubsugul basin bitumoids and the Sukhoi Log deposit

Объекты (месторождения)	Содержание, %		
	С	Н	β^{***}
Сухой Лог*	63.79–64.9 (63.38)	7.15–7.60 (7.37)	0.66–1.57
ОХБ**	50.45–65.43 (58.06)	6.48–8.93 (7.31)	1.3–4.16

Примечание. *По (Будяк и др., 2008); **по (Георгиевский, Бугина, 2019); ***битумоидный коэффициент $\beta = C_{бит}/C_{орг} \times 100$.

Note. *By (Budyak et al., 2008); **by (Georgievskii, Bugina, 2019); ***bitumoid coefficient $\beta = C_{bit}/C_{org} \times 100$.

ставлен разнообразными конкреционными стяжениями (желваками), зернами, различными зооморфозами, а также раковинами лингулит. В качестве примеров отмеченных обстановок следует назвать мезозойские бассейны фосфоритов Центральной России (Егорьевское и Вятско-Камское месторождения), комплексные фосфоритовые титан-цирконовые россыпи Воронежской антеклизы, Центрального месторождения в Тамбовской области, а также россыпи Унечского месторождения на Брянщине. О присутствии здесь золота стало известно в 60-х гг. прошлого века, когда изучались перспективы золотоносности чехла Русской платформы. В фосфоритовых желваках Егорьевского и Кимовского месторождений (верхняя юра – нижний мел, Московская и Тульская области) содержания золота составили 50–200 мг/т. Важно подчеркнуть, что найдено оно было как в фосфоритах, так и во вмещающих песках и глинах, тогда как на Шигровском месторождении Курской области обнаружить золото вообще не удалось (Ясырев, 1968). Помимо отмеченных случаев, слабая золотоносность зафиксирована в нескольких пробах желваковых фосфоритов мел-палеогенового возраста Украины и Воронежской антеклизы с концентрациями металла от 30 до 78 мг/т (Коваленко, Сеенов, 1964; Коваленко, Латиш, 1973). Выполненные позднее дополнительные поисковые и научно-исследовательские работы также показали наличие в желваковых фосфоритах золота, но с очень неравномерным его распределением и низкими содержаниями (0.3 г/т – на Егорьевском, 0.012 и 0.065 г/т – на Уколовском и Вятско-Камском месторождениях) (Горенков и др., 1998; Кальниенко и др., 1995; Савко и др., 1996; Турлычкин, Горенков, 1999; Черешинский, 2014, Черешинский и др., 2021). Интересные данные получены в самом начале нынешнего века на Уколовском месторождении, когда изучались вскрышные породы в целях воз-

можного их использования в народном хозяйстве (Литовченко и др., 2001). В рамках выполненных исследований проведены повторные технологические испытания обогатимости фосфоритовых руд, результаты которых показаны в табл. 3. Как видно из нее, в заметных количествах золото отмечено только в тяжелой и магнитной фракциях проб, тогда как в собственно желваковых концентратах доля его оказалась незначительной.

Подтверждением сказанного служат содержания металла в фосфоритовых желваках, разделенных по основным гранулометрическим классам промышленного ситования (табл. 4). Данные таблицы показывают, что золотоносность желваков не зависит от их размера и оценивается как крайне низкая (0.2–0.4 г/т). Полученные цифры, очевидно, можно принять в качестве наиболее достоверных содержаний золота в рудах Уколовского месторождения в целом.

Более значительные концентрации металла (1.1–4.7 г/т) установлены в шести образцах фосфоритов сеноманского яруса Ливенско-Богучарской тектонической зоны Воронежской антеклизы (Шатров и др., 2002). Но, судя по материалам (Лоскутов, 1998; Савко и др., 1996; Шатров и др., 2002), указанные значения относятся к разряду исключений и связаны с проявлением гидротермальной низкотемпературной деятельности в тектонической зоне (Лоскутов, 1998; Савко, Шевырев, 2001, 2010). О нетипичности таких содержаний свидетельствуют результаты геологического доизучения Воронежской антеклизы в рамках работ программы ГДП-200 (листы N-37-XXXI (Малоархангельск), M-37-III (Касторное), M-37-I,II (Курск)) (Черешинский, 2014). При их проведении проанализировано 80 проб желваков фосфоритов на золото. Из них практически половина оказалась “пустыми”. В остальных пробах максимальное содержание металла составило 6 мг/т. Золото с призна-

Таблица 3. Распределение золота в продуктах обогащения фосфоритовых руд Уколовского месторождения (Литовченко и др., 2001), г/т

Table 3. Distribution of gold in the products of enrichment of phosphorite ores of the Ukolovsky deposit (Litovchenko et al., 2001), ppm

Продукты обогащения	Пробы		
	ТП-1	ТП-2	ТП-3
Желваки класса –2.0+1.0 мм	0.2	0.1	0.2
Желваки класса –1.0 +0 мм	0.4	0.1	0.1
Концентрат центробежной сепарации	0.8	1.1	н/а
Хвосты центробежной сепарации	0.3	0.3	0.1
Магнитная фракция (глауконит)	0.5	0.6	1.3
Хвосты сухой магнитной сепарации	0.1	0.3	0.1

Таблица 4. Золото в классах отсева фосфоритовых желваков Уколовского месторождения (Литовченко и др., 2001), г/т
Table 4. Gold in the sieving classes of phosphorite nodules of the Ukolovsky deposit (Litovchenko et al., 2001), ppm

Желваки фосфоритов, мм	Выход, %	Проба БТП-12	Выход, %	Проба БТП-100
–70.0+20.0	71.5	0.2	–	–
–20.0+8.0	23.2	0.2	81.0	0.4
–8.0+3.0	–	–	19.0	0.2
–3.0+2.0	5.3	0.2	–	–

ками аутигенного и кластогенного происхождения по размерности тонкое и мелкое, в основном состоит из частиц менее 0.2 мм. У разных авторов средние его значения для мезозойских руд колеблются в пределах от 0.05 до 0.51 г/т (Горенков и др., 1998; Турлычкин, Горенков, 1999; Федосеев, 2014; Черешинский, 2014; Ясырев, 1968), а для желваков венда-кембрия Подолии составляют 0.3 г/т (Фелицын, 2006). Причины таких разбросов, скорее всего, надо искать в минеральном составе желваковых фосфоритов различных месторождений. Последний – преимущественно глауконитовый – на Егорьевском, существенно глинистый – на Вятско-Камском месторождении и кварцево-песчаный – на месторождениях Воронежской антеклизы.

Близкие показатели золотоносности выявлены при изучении фосфоритов, заключенных в титанцирконовых песках россыпных залежей Центральная и Унечская. Для Центрального месторождения первые определения золота в фосфоритовых желваках показали содержание металла 0.05–1 г/т при средних его значениях в рудоносных песках около 200 мг/м³ (Константиновский, 1999; Патык-Кара и др., 2008). Это вселяло надежду на возможность попутного извлечения золота при наработке Ti-цирконовых концентратов. Однако заверочные работы 2018 г., выполненные с применением пробирного и пробирно-атомно-адсорбционного анализов, кардинально изменили ситуацию. Как было установлено технологическими испытаниями, уровень золота в продуктах обогащения не превышает 0.01 г/т. Отрицательные результаты также показали анализы 59 проб фосфоритовых желваков, отсеянных из рудных песков. Средние содержания металла здесь составили 0.002 г/т (Бондаренко, Золотарева, 2018). Золото ультратонкое и тонкое с максимальным размером частиц 0.1 мм. Накапливается оно главным образом в гранулометрическом классе 0.03+0.05 мм. Золотины обычно таблитчатые, как с признаками, так и без признаков окатывания. Также встречаются игольчатые, амебообразные и дендритовидные формы. Весьма вероятно, что их образование может быть связано с эксгалационно-осадочными процессами (Савко и др., 1996; Савко, Шевырев, 2001).

Крупно объемные технологические пробы Унечского месторождения фосфоритовых рудных песков изучались институтами ГИГХС и ГИРЕДМЕТ¹. В ходе гравитационного и суспензионно-флотационного обогащения в фосфоритовых концентратах и концентратах тяжелых минералов обнаружить золото не удалось (Иконников и др., 1991; Ширшов и др., 1990). Вместе с тем из сказанного не следует, что на месторождении его совсем нет. В 2008 г. в керне одной из скважин определены содержания металла от 0.1 до 2 г/т (Долженко, 2008). Таким образом, изложенный выше материал позволяет утверждать, что для фосфоритоносных терригенных отложений золото – это обычный аксессуарный минерал. Показательным примером являются ордовикские ракушечные песчаные фосфориты Прибалтики, которые обрабатываются с первой половины прошлого века. Здесь, на обогатительной фабрике Кингисеппского месторождения, в камере одного из флотаторов зафиксированы знаки золота с размером частиц до 2 мм (Константинов и др., 2005).

Нерешенным остается вопрос о генезисе золотоносности фосфоритов. В основном обсуждаются три возможных варианта, к которым относятся: терригенное поступление золота, наложенная эксгалационно-осадочная минерализация и его хемогенно-сорбционное накопление. Если кластогенная (терригенная) природа многих золотин является очевидным фактом (формы и следы окатывания), то для остальных версий необходимы пояснения. В серии публикаций геологов Воронежского университета приведены убедительные признаки развития в зонах разрывных деформаций чехла Воронежской антеклизы низкотемпературных гидротермальных процессов, что стало причиной появления в фосфоритах и вмещающих их отложениях выделений аутигенного золота (игольчатые, амебообразные, дендритовые и другие причудливые формы золотин, а также насыщенность их летучими компонентами) (Лоскутов, 1998; Савко и др., 2000; Савко, Шевырев, 2010). Что касает-

¹ ГИГХС – Государственный институт горно-химического сырья. ГИРЕДМЕТ – Государственный институт редких металлов.

ся представлений о хемогенно-сорбционном происхождении золота, то возможность реализации такого механизма оруденения обсуждалась еще на начальных этапах изучения золотоносности фосфоритов. Считается, что ведущая роль здесь принадлежит сорбированию фосфатными выделениями из диагенетических иловых растворов хлоридных и, вероятно, гидросульфидных комплексов золота, которое затем трансформируется в металлическое состояние (Мельникова, 2000; Турлычкин, Горенков, 1999; Тагиров, 2020; Ясырев, 1971). Показательными в этом отношении являются сведения о характере золота в ордовикских фосфатных брахиоподах и конодонтах ракушечных фосфоритов Прибалтийско-Ладожского бассейна. По данным электронной микроскопии, “золотинки” фиксируются на поверхности органических остатков и имеют размеры от 3 до 20 мкм. При этом общее содержание металла достигает в брахиоподах 0.79–0.88 мкг/г, а для фрагментов конодонтов – находится на уровне 4.9–5.0 мкг/г. Поступление золота связывают с размывом кор выветривания, которые в начале палеозоя формировались по породным комплексам Балтийского щита (Фелицын, Алфимова, 2022). К сказанному следует добавить, что в фосфоритах, помимо органо-фосфатной матрицы, в качестве сорбционного барьера, очевидно, может выступать также рассеянное органическое вещество (кероген) (Фелицын, Пшеничнова, 1992) и глинисто-глауконитовый материал. По крайней мере, сведения о повышенных количествах золота в глауконите приводил еще А.П. Ясырев в работах 1967 и 1969 гг. (Ясырев, 1967, 1969). Более однозначные данные следуют из анализа материалов изучения обогатимости технологических проб Уколовского месторождения. Как видно из табл. 3, содержания металла в наработанном глауконитовом концентрате колеблются на уровне 0.5–1.3 г/т.

Новый этап в изучении золотоносности фосфоритов связан с широким применением в геологической практике прецизионных методов исследования вещества (мощных электронных микроскопов, сверхчувствительных аналитических приборов, микрозондовых анализаторов). К первым работам такого плана относятся публикации Г.Н. Батурина и его коллег. С помощью сканирующей электронной микроскопии в шельфовых фосфоритах (конкрециях, зернах и фосфоритовых корках) ими были найдены микрокристаллиты золота. По форме золотины веретенообразные, идиоморфные или пластинчатые с признаками аутигенного и кластогенного происхождения (Батурина, Дубинчук, 1979, 2006). Г.Н. Батуриным же совместно с А.М. Асавиным и Г.М. Колесовым выполнены сопоставления золотоносности фосфоритов шельфа и континентальных месторождений мезокайнозойского возраста (зернистые руды Марокко, Перу, фосфоритовые галечники полуостро-

ва Флориды (США) (Батурина и др., 2006). Сравнительный анализ показал, что концентрации золота в континентальных и морских фосфоритовых образованиях находятся примерно на одном уровне: 0.76–19.68 и 0.49–24.07 мг/т соответственно. В континентальных рудах наибольшие скопления металла (19.68 мг/т) обнаружены в зернистых фосфоритах Марокко. Возможно, помимо Марокко, и в других странах Африки зернистый тип руд действительно в какой-то степени обогащен золотом. Так, судя по материалам (Школьник, Абдель Мохин, 2012), в фосфоритах Египта среднее содержание Au 0.1 г/т при его концентрациях в отдельных пробах до 0.35 г/т. Кроме этого, в этой же работе для фосфоритов Сенегала и Марокко указаны концентрации золота 10.1 и 18.8 г/т. Однако такие случаи требуют проверки, поскольку относятся к ряду единичных, а сами замеры металла выполнялись рентгенофлуоресцентным методом. По данным электронной микроскопии, золото ультратонкое (менее 0.5 мкм), заключено в цементе и зернах фосфата. В отдельных пробах оно не выявлено и, скорее всего, представлено наночастицами.

По расчетам Г.Н. Батурина, кларк золота для континентальных и океанских фосфоритов составляет 6 мг/т (Батурина, Колесов, 2009). Для промышленных типов фосфоритовых руд с такой оценкой, вероятно, можно согласиться. По крайней мере, приведенные в более поздних публикациях других авторов средние содержания металла в фосфоритах разных регионов не противоречат разработанному показателю.

Таким образом, изложенный выше материал убедительно подтверждает существующие представления, что фосфориты для золота – это не более как временные коллекторы, продуктивность которых зависит от многих факторов. К главным из них относятся: особенности геологического строения регионов, характер тектонического и магматогенного развития территорий, длительность эпох кооробразования, минералого-петрографический состав обогащенных золотом породных комплексов, формы транспортировки металла и механизмы его аккумуляции в зависимости от фациальных обстановок в фосфоритоносных бассейнах (Иконников, 1987; Патык-Кара и др., 2008; Турлычкин, Горенков, 1999; Федосеев, 2014; Фелицын, 2006; Фелицын, Алфимова, 2022; Ясырев, 1964, 1971). Совершенно очевидно, что такое разнообразие и “многовекторность” перечисленных факторов априори не способны создать благоприятные условия для совместного и масштабного формирования золотого и фосфоритового оруденения. По этой причине для производственных целей золотоносность фосфоритов вряд ли будет представлять существенный практический интерес. На что можно рассчитывать, так это на низкорентабельную попутную добычу Au при разработке фосфоритных ти-

тан-цирконовых россыпей (Бондаренко, Золотарева, 2018) и на проблематичное его извлечение по сложной, неосвоенной технологии из раковин фосфатных брахиопод ордовикских песков Прибалтики (Фелицын, Алфимова, 2022).

На фоне сказанного принципиально выделяется золото Харанурского месторождения карстовых фосфоритов в Юго-Восточных Саянах Республики Бурятия. Здесь разведаны запасы металла по категории C_2 в количестве 4.6 т с содержаниями в рудах от 1.15 до 2.51 г/т (Миронов, Шуляк, 2010; Миронов, Миронова, 2017). Важно подчеркнуть, что среди многочисленных месторождений подобного типа (Белка, Тамалыкское, Телекское, Обладжанское, Сейба, Софроновское, Ашинское и др.), золото установлено лишь на Софроновской залежи Полярного Урала, да и то только в виде редких знаков (Прямоносков и др., 2001; Занин и др., 2009). По этой причине высокая золотоносность карстовых руд Харанура достойна пристального внимания. Пространственно они тесно связаны с одноименным месторождением древних (эдиакарских) афанитовых фосфоритов ранее упомянутого Окино-Хубсугульского бассейна (Георгиевский, Бугина, 2019).

На Харанурском месторождении карстовая залежь имеет линейную конфигурацию и ограничена крутыми сбросовыми нарушениями северо-восточного простирания. Ее длина составляет 3.2 км, а ширина меняется от 150 до 650 м. Глубина карстовой полости (мощность залежи) колеблется от 20 до более 100 м. С юго-востока к ней примыкают рифей-вендские рассланцованные вулканиты сархойской свиты, а также тальк-серпентинитовые сланцы ильчирского гипербазитового комплекса. С противоположной (северо-западной стороны) залежь по зоне дробления контактирует с пачкой коренных фосфоритов и подстилающими их доломитами забитской свиты вендского возраста. Залежь сложена гранулометрически разнородным материалом, начиная от глыб и щебня и кончая супесями и суглинками, которые переслаиваются с глинами, песками, алевролитами, маршаллитами. Среди обломков доминируют в разной степени выветрелые кремни, сланцы, коренные фосфориты, а также фрагменты диоритовых дайковых пород, от почти неизмененных до превращенных в глинисто-песчаную массу. В разрезе залежи с помощью опробования выявлено от одного до четырех сложных по форме рудных (фосфоритовых) тел, мощность которых меняется от 0.5 до 20 м, а содержания P_2O_5 варьируются от 7 до 27 мас. %. Фосфориты макроскопически не отличаются от вмещающих отложений и представлены сцементированными и рыхлыми остаточным и инфильтрационно-метасоматическим типами карстовых руд. В их формировании участвовали процессы выщелачивания, фосфатного метасоматоза, ожелезнения, маршаллизации (Бугина и др., 2016).

Золото отмечено по всему разрезу залежи, но распределяется в ее контурах весьма неравномерно, с колебаниями содержаний от 0 до 16 г/т. Золотины относятся к мелким классам рассева ($-0.2...+0.25$ мм) и в отдельных случаях у них заметны признаки окатывания (Миронов, Миронова, 2017). Для выяснения источника поступления металла в карстовую залежь проведено опробование окружающих ее отложений. С помощью нейтронно-активационного анализа выполнены определения золота в пробах коренных фосфоритов (7–34.5 мас. % P_2O_5) (26 шт.), дайковых пород (4 шт.), в фосфатных углеродисто-глинистых сланцах (0.5–3.7 мас. % P_2O_5) (5 шт.) и фтанитах (0.7–4.1 мас. % P_2O_5) (5 шт.), а также в тальк-серпентинитовых и вулканитовых сланцах (3 шт.). Золото обнаружено в фосфоритах (0.01–0.17 г/т), фтанитах (0.05–0.21 г/т), углеродистых сланцах (0.05–0.11 г/т) и дайках (1.1–7.2 г/т). По данным разведочных работ, выполненных при подсчете запасов коренных руд Харанурского месторождения, дайки являются обычными элементами его строения. Чаще всего это субсогласно залегающие тела мощностью от долей до 5 м, с признаками “горячего” внедрения. По петросоставу они относятся к андезитовым-порфиритам и микродиоритам. Последние обычно слагают центральные части крупных даек, а к их периферийным зонам переходят в порфириты. Дайковые тела изменены вторичными процессами в форме альбитизации, серицитизации, карбонатизации, хлоритизации и пиритизации (рис. 1). Пирит разрозненный и в виде агрегатных скоплений с размером зерен-кристаллов до 5 мм. Общая его доля в породах колеблется от 5 до 30%. В монофракциях он кубический и октаэдрический, а содержания золота составляют от 1.3 до 7.4 г/т. Принимая во внимания эти данные, следует заключить, что причины золотоносности карстовых фосфоритов Харанурского месторождения кроются не в геохимических особенностях фосфатного вещества, а в накоплении в карстовой депрессии обломков пиритизированных дайковых пород, которые обогащены золотом. Выветривание их в условиях карста способствовало окислению пирита и перегруппировке золота из дисперсного состояния в видимые минеральные формы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ материалов по современным (океаническим) и древним типам фосфоритов (афанитовым, микрозернистым, зернистым, желваковым, ракушечным и карстовым) показал, что золото не является обязательным компонентом этих пород. В случае его наличия золотины обычно без сростков и представлены как аллотигенными (кластогенными), так и аутигенными (сложными по форме) выделениями. По размерности зо-

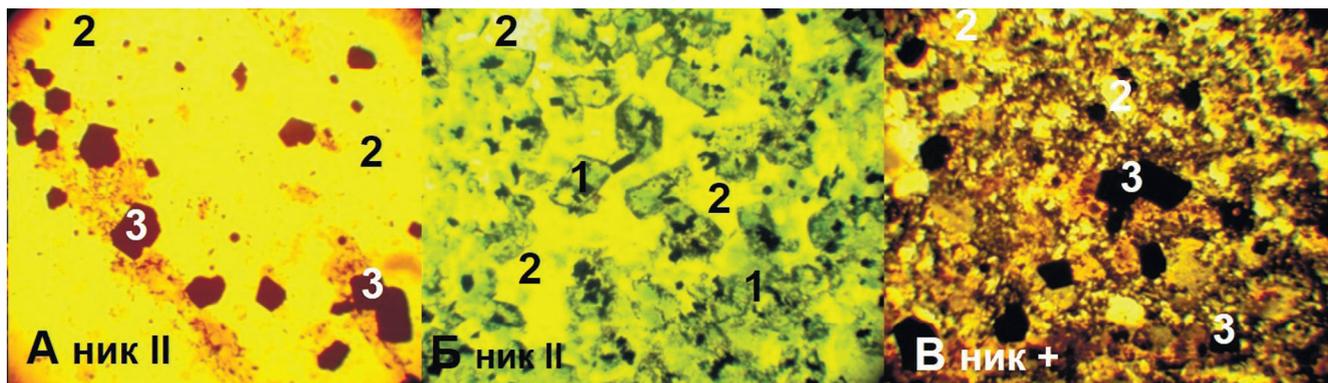


Рис. 1. Измененные дайковые породы.

А – андезитовый порфирит; Б, В – апомикродiorиты; 1 – альбит-серицитовые участки, 2 – замещенные хлоритом вкрапленники амфибола, 3 – включения пирита. Видимое поле 1 см².

Fig. 1. Modified dyke rocks.

А – andesite porphyrite; Б, В – apomicrodiorites; 1 – albite-sericite sites, 2 – chlorite-substituted amphibole inclusions, 3 – pyrite inclusions. Visible field 1 cm².

лото видимое (гравитационно-обогащаемое) и дисперсное (до уровня наночастиц). В фосфоритах оно может быть седиментационным (терригенно-обломочным), диагенетическим (химически сорбированным из иловых растворов минеральной матрицей углеродисто-фосфатного и глауконитового состава), а также наложенным (экспозиционно-гидротермальным), связанным с воздействием на фосфоритные толщи поздних магматических расплавов. В практическом отношении золотоносность фосфоритов, как правило, представляет собой малозначимое явление. Для золота фосфориты и вмещающие их породы выступают только в роли временных коллекторов, продуктивность которых зависит от сочетания многих, часто случайных и мало связанных, факторов. К важнейшим из них относятся геологическое строение региона, тектономагматический характер территории, минералогический состав породных комплексов и их обогащенность золотом, тип кор выветривания и их продолжительность эпох их формирования, формы транспортировки металла и механизмы его аккумуляции в зависимости от фациальных обстановок в фосфоритоносных бассейнах и, наконец, активность вторичных изменений фосфоритоносных отложений, вызванных внедрением магматических тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анкушева Н.Н., Паленова Е.Е., Панкрушина Е.А., Шанина С.Н. (2019) Условия образования рудных и безрудных кварцевых жил месторождения золота Красное (Восточная Сибирь) по данным термобарогеохимии и изотопии. *Минералогия*, 1(5), 58-71.

Базарова Ж.Г., Доржиева С.Г., Амгалан Ж., Татарин

нов А.В., Энхтуя Д., Яловиц М.И., Карманов И.С. (2009) Изменение химического состава золотоносных фосфоритов при механической активации. *Вестн. БГУ*, (3), 90-97.

Батурич Г.Н., Асавин А.М., Колесов Г.М. (2006) Благородные металлы в современных и древних фосфоритах. *Докл. АН*, (407), 384-387.

Батурич Г.Н., Дубинчук В.Т. (1979) Микроструктуры океанских фосфоритов. М., 199 с.

Батурич Г.Н., Дубинчук В.Т. (2006) Формы золота и платины в фосфоритах шельфа Намибии. *Докл. АН*, 206(5), 659-662.

Батурич Г.Н., Колесов Г.М. (2009) Благородные металлы в Fe-Mn и фосфатных отложениях океана. *Мат-лы XVIII Междунар. науч. конф.* М., 232-235.

Белницкая Г.А., Петров О.А., Соболев Н.Н. Рифовые, соленосные и черносланцевые формации России (2015). *Тр. ВСЕГЕИ*, 355, 624.

Беневольский Б.И., Иванов В.Н. (1999) Минерально-сырьевая база золота на рубеже XXI в. *Минеральные ресурсы России: экономика и управление*, (1), 9-16.

Блисковский В.З. (1983) Вещественный состав и обогащенность фосфоритовых руд. М., 200 с.

Бондаренко С.В., Золотарева Г.С. (2018) Распределение попутного золота в титан-циркононовых песках россыпи "Центральная" (Тамбовская область). *Вестн. ВГУ, сер. геология*, (3), 66-73. <https://doi.org/10.17308/geology.2018.3/1621>

Брюханов Н.Н. (2015) Геохимия рассеянного органического вещества в золоторудных месторождениях черносланцевых формаций. *Докл. АН*, 463(6), 692-695. <https://doi.org/10.7868/S0869565215240160>

Бугина В.М., Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2016) Литохимическая характеристика отложений карстовой фосфоритовой залежи Харанурского месторождения (Юго-Восточные Саяны). *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, (8), 33-37. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2016-8-33-37>

Будяк А.Е., Горячев Н.А., Развозжаева Э.А., Спиридо-

- нов А.М., Соцкая О.Т., Евсеев В.В., Немеров В.К., Серебренникова О.В. (2015) Геохимия рассеянного органического вещества в золоторудных месторождениях черносланцевых формаций. *Докл. АН*, **463**(6), 692-695.
- Бушинский Г.И. (1969) Формация Фосфория. М.: Наука, 112 с.
- Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Корочанцев А.В. и др. (1995) О связи сорбционной емкости углеродистого вещества пород по отношению к благородным металлам с его структурой. *Геохимия*, (8), 1191-1198.
- Вуд Б.А., Попов Н.П. (2006) Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь). *Геология и геофизика*, **47**(3), 315-341.
- Георгиевский А.Ф., Бугина В.М. (2019) Афанитовый генетический тип промышленных фосфоритов и условия их формирования в Окино-Хубсугульском бассейне. М., 294 с.
- Горенков Н.Л., Турлычкин, В.М. Певзнер Г.Н. (1998) Изучение металлоносности фосфоритонесных глауконитовых песков на золото, уран, редкие и рассеянные элементы Уколовского месторождения. Тула, 57 с.
- Гребенщикова В.И., Матель Н.Л. (1998) Новые данные об условиях отложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового оруденения месторождения Сухой Лог. *Докл. АН*, **371**(1), 88-92.
- Долженко В.Н. (2008) Новые данные о геохимии россыпей Унечского месторождения и перспективы их золотоносности. *Вестн. Брянского ун-та*, (4), 128-131.
- Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Рафаилович М.С. (2011) Крупные месторождения золота в черносланцевых толщах. Условия формирования, признаки сходства. Алматы, 272 с.
- Евсеев В.В., Немеров В.К., Серебренникова О.В. (2008) Особенности состава органического вещества и распределение редких металлов в древних черносланцевых формациях Сибири. *Нефтегазовое дело*, с. 1-9. http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Evseev/Evseev_1.pdf
- Занин Ю.Н. (1992) Петрография фосфоритов. Новосибирск: Наука, 188 с.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. (2009). Микроэлементы в фосфатных породах Софроновского месторождения на Полярном Урале: особенности распределения и экологическая оценка. *Литосфера*, (6), 95-106.
- Иванов А.И., Алексеев Я.В., Черных А.В., Наумов Е.А. (2022) Российские золоторудные месторождения – аспекты открытия. *Отеч. геология*, (3), 1-21. <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2022-10012>
- Иконников Н.Н. (1987) Россыпные продуктивные формации осадочного чехла Русской плиты. *Мат-лы 8-го совещания по геологии россыпей*. Киев, 249-251.
- Иконников Н.Н., Осауленко О.В., Прокофьева Н.И. (1991) Опыт-методические работы по разработке методики поисков и технологии обогащения фосфатных титан-циркониевых россыпей на примере объектов юго-западной части Московской синеклизы (Брянская область). М., 190 с.
- Ильин А.В. (2004) Хубсугульский фосфоритонесный бассейн (новые данные и представления). *Литология и полезн. ископаемые*. (5), 523-538.
- Ильин А.В., Волков Р.И. (1978) Верхнерифейский Дархатско-Хубсугульский рифт. *Докл. АН СССР*, **238**(6), 1422-1425.
- Кабанова Е.С., Плотникова Л.Я. (1973) Геохимия элементов-примесей в фосфоритах. *Итоги науки и техники*, (7), ВИНТИ АН СССР, 143-191.
- Кальниенко С.С., Иванов Н.М., Филиппов В.П. (1995) Основные типы золотосодержащих месторождений осадочного чехла центральной части Восточно-Европейской платформы. *Руды и металлы*, (6), 5-13.
- Карпенко И.А., Черемисин А.А., Куликов Д.А. (2008) Морфология, условия залегания, и внутреннее строение рудных тел на месторождении Сухой Лог. *Руды и металлы*, (2), 11-16.
- Кизильштейн Л.Я. (2017) Золото и органическое вещество земной коры. *Природа*, **1226**(10), 63-65.
- Кизильштейн Л.Я. (2000) Роль органического вещества в образовании месторождений золота (на примере черных сланцев). *Росс. хим. журн.*, **XLIV**(3), 108-114.
- Коваленко Д.Н., Латинш У.К. (1973) К вопросу о золотоносности фосфоритов Украины. *Докл. АН УССР*, **5**(10), 885-887
- Коваленко Д.Н., Семенов В.Г. (1964) Фосфориты Украины. Київ: Наук. думка, 179 с.
- Константинов В.М., Казаков А.А., Новиков В.М., Трубкин Н.В. (2005) Золото в фосфоритах Кингисеппского месторождения Русской платформы. *Отеч. геол.*, (6), 48-51.
- Константиновский А.А. (1999) Потенциал золотоносности платформенных кварцево-песчаных формаций. *Руды и металлы*, (1), 48-51.
- Лаверов Н.П., Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л. (1999) Платина и самородные металлы месторождения Сухой Лог. *Наука в России*, (2), 128-130.
- Лаверов Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В., Юровская М.А., Спиридонов А.М., Гребенщиков В.И., Матель Н.Л. (2000) Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог. *Докл. АН*, **371**(1), 88-92
- Литовченко Н.И., Клеймёнов В.М., Горецков Н.Л. (2001) Отчет о результатах работ по объекту “Изучение вскрышных пород Уколовского месторождения фосфоритов с целью их использования в народном хозяйстве”. Курск: Тульское НИГП, 535 с.
- Лоскутов В.В. (1998) Геохимические аномалии в осадочном чехле Воронежской антеклизы и их связь с зонами фанерозойской тектонической активности. *Вестн. ВГУ. Сер. геология*, (6), 250-255.
- Лушаков А.В., Быховский Л.В., Тигунов Л.П. (2001) Нетрадиционные источники попутного получения золота: проблемы и пути решения. М.: ВИМС, 82 с.
- Марченко Л.Г. (2017) Нанотехнология извлечения благородных металлов из тонкодисперсных руд месторождений “черносланцевого” типа – природоподобная технология. *Золото и технологии*, **37**(3), 138-148.
- Мельникова А.В. (2000) Золотосодержащие фосфориты центральной части Русской платформы – своеобразный тип промежуточного коллектора. *XII Международное совещание по геологии россыпей и кор выветривания*. М., 234 с.
- Миронов А.А., Миронова Е.А. (2017) Геологическое строение и полезные ископаемые Харанурского рудного поля. *Разведка и охрана недр*, (9), 17-27.
- Миронов А.А., Шуляк Г.Б. (2010) Золотоносные коры выветривания горной Бурятии. *Золотодобыча*, (135), 4-7.

- Ненахов В.М., Золотарева Г.С., Дубков А.А. (2021) Черные сланцы сухоложского типа и их благородно-металльный потенциал: современное состояние изученности, технологические реалии и перспективы. *Вестн. ВГУ. Сер. геология*, (1), 53-64. <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3337>
- Ненахова Е.В., Сахно В.Г., Калашников Ю.Д., Ненахов В.М., Кузнецов А.Ю. (2018) Самосборка нанодисперсных форм платиноидов как метод их извлечения на примере золотосеребряных руд Милоградского проявления (Приморский край). *Вестн. ВГУ. Сер. геология*, (4), 102-106.
- Патык-Кара Н.Г., Левченко Е.Н., Стехин А.И. (2008) Минеральные ассоциации титано-циркониевых песков месторождения Центральное (Восточно-Европейская платформа). *Геол. руд. месторождений*, (3), 246-270.
- Попова М.В., Развозжаева Э.А., Митрофанова А.Ю., Плотникова Л.П. (2002) Органическое вещество как источник золота при формировании месторождений Центрального Алдана. *Геохимия*, (11), 1209-1217.
- Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Телегина Т.В., Кузнецов В.И., Григорьев В.В., Абатурова И.В., Кузнецова Э.Я. (2001) Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд-е второе. Сер. Полярно-Уральская. Лист Q-41-XII. Объяснительная записка. СПб., 213 с.
- Савко А.Д., Шевырев Л.Т. (2010) Геохимические особенности ультраотгонного золота и интерметаллидов из осадочного чехла Воронежской антеклизы. *Изв. ВУЗов. Геология и разведка*, (5), 14-21.
- Савко А.Д., Шевырев Л.Т. (2001) Ультратонкое золото. *Тр. НИИ геологии ВГУ*, (6), 151.
- Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В., Божко Е.Н. (1996) Золото и редкие минералы в осадочном чехле Воронежской антеклизы. *Вестн. ВГУ. Сер. геология*, (1), 133-137.
- Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В., Лоскутов В.В. (2000) Эксгальационно-осадочная металлоносность Воронежской антеклизы – новые горизонты поисков рудных месторождений в осадочном чехле. *Вестн. ВГУ. Сер. геология*, (10), 126-136.
- Тагиров Б.Р. (2020) Поведение благородных металлов (Au, Pd, Pt) в гидротермальных флюидах. Дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ РАН, 204 с.
- Турлычкин З.М., Горенков Н.Л. (1999) Фосфориты – адсорбенты золота и восстановители до свободно-металлического. *Геол. вестник центральных районов России*, (3), 14-17.
- Федосеев И.И. (2014) Палеогеографические условия формирования попутных месторождений россыпного золота бассейна верхней Оки. Дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 125 с.
- Фелицын С.Б. (2006) Содержание золота в фосфоритовых конкрециях венд-кембрия Восточно-Европейской платформы. *Литология и полезн. ископаемые*, (5), 468-474. <https://doi.org/10.1134/S0024490206050026>
- Фелицын С.В., Алфимова Н.А. (2022) Золото в биогенных апатитах Прибалтийско-Ладожского фосфоритоносного бассейна. *Зап. Горн. ин-та*, 255, 470-475. <http://dx.doi.org/10.31897/PMI.2022.47>
- Фелицын С.Б., Пшеничнова Т.Г. (1992) Содержание золота в органическом веществе и глинистых сланцах некоторых опорных разрезов верхнего венда Русской платформы. *Докл. АН СССР*, 324(6) 1304-1308.
- Фомичев В.И. (2006) Особенности строения и локализации оруденения золото-платинового гиганта Сухой Лог с позиций тектонофациального анализа. *Геол. и полезн. ископаемые мирового океана*, (4), 126-136.
- Холодов В.Н., Блисковский В.З. (1976) Геохимия элементов-примесей в фосфоритоносных формациях. *Литология фосфоритоносных отложений*. М., 29-42.
- Черепанов А.А., Бердников Н.В., Штарева А.В. (2019) Редкоземельные элементы и благородные металлы в фосфоритах проявления Гремучий (Малый Хинган, Дальний Восток России). *Тихоокеан. геология*, 38(6), 99-107. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2019-38-6-99-107>
- Черешинский А.В. (2014) К проблеме эндогенного рудообразования Воронежской антеклизы. *Вестн. ВГУ. Сер. геология*, (4), 66-72.
- Черешинский А.В., Шевырев Л.Т., Савко А.Д. (2021) Ультратонкое золото в осадочном чехле Воронежской антеклизы. *Вестн. ВГУ. Сер. геология*, (1), 4-25. <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3334>
- Шатров В.А., Сиротин В.И., Войцеховский Г.В. (2002) Конкреции осадочного чехла Воронежской антеклизы как геохимические индикаторы зон повышенной проницаемости земной коры. *Докл. АН*, 385(4), 521-523.
- Ширшов А.А., Иконников Н.И., Краснов А.А., Шмелькова Ю.Ф., Асипов А.А. (1990) Геолого-минералогические особенности верхнемеловых фосфоритовых руд Центральной части Восточно-Европейской платформы. *Эпохи промышленного фосфатообразования и перспективы развития сырьевой базы*. Черкассы, 57-59.
- Школьник Э.Л., Абдель Могхин М.В. (2012) Золото и серебро в мезо-кайнозойских фосфоритах Северной Африки. *Уральский геол. журн.*, (5), 14-12.
- Юдович Я.Э. (2000) Черные сланцы в рудогенезе золота: ресурс или барьер? *Минеральное сырье Урала*, 6(72), 3-11.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (1988) Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 272 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (1994) Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург: Наука, 304 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. (1990) Геохимия и рудогенез золота в черных сланцах. Сыктывкар: Геонаука, 51 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Рыбина Н.В. (2020) Геохимия фосфора. Сыктывкар: Геопринт, 511 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Рыбина Н.В. (2018) Фосфориты и глауконит: причина парагенезиса. *Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*, 11(287), 43-47. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-11-43-47>
- Яншин А.Л., Занин Ю.Н., Соколов А.С. (1979) Вещественный состав фосфоритов. Новосибирск: Наука, 193 с.
- Ясырев А.П. (1964) Микроэлементы в пластовых и желваковых фосфоритах некоторых месторождений Центральных районов РСФСР. *Литол. и полезн. ископаемые*, (3), 66-76.
- Ясырев А.П. (1971) Желваковые фосфориты Русской платформы – промежуточный коллектор золота при россыпеобразовании. *Докл. АН СССР*, 199(2), 452-455.
- Ясырев А.П. (1967) Золото и серебро в фосфоритах Русской платформы. *Тр. ЦНИГРИ*, 72, 123-158.

- Ясырев А.П. (1968) О золотоносности мезозойских желваковых фосфоритов Русской платформы. *Докл. АН СССР*, **165**(6), 1354-1357.
- Ясырев А.П. (1969) Элементы-примеси в мезо-кайнозойских фосфоритах русской платформы. Автор. дисс. ... канд. геол.-мин. наук, Тула: ЦНИГРИ, 28 с.
- Claypool G.E., Love A.H., Maughan E.K. (1978) Organic Geochemistry, Incipient Metamorphism, and Oil Generation in Black Shale Members of Phosphoria Formation, Western Interior United States. *Geol. AAPG Bull.*, **62**(1), 98-120. <https://doi.org/10.1306/C1EA4801-16C9-11D7-8645000102C1865D>
- Ketris M.P., Yudovich Ya.E. (2009) Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. *Int. J. Coal. Geol.*, **78**(2), 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.01.002>
- Lillis P.G., Selby D. (2013) Evaluation of the rhenium-osmium geochronometer in the Phosphoria petroleum system, Bighorn Basin of Wyoming and Montana, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **118**, 312-330. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.04.021>
- Maughan E.K. (1983) Geological setting of oil shales in the Permian phosphoria formation and some of the geochemistry of these rocks. *Conf. Paper USGS Publ. Warehouse*, **28**(1), 74-76.
- McKelvey V.E., Strobell Jr. J.D., Slaughter A.L. (1986) The vanadiferous zone of the Phosphoria Formation in western Wyoming and southeastern Idaho. U.S. Geological Survey professional paper, Washington: UNITED STATES government printing office, 27 p. <https://doi.org/10.3133/pp1465>
- Moore-Nall A.L., Tsosie R.L. (2017) Possible involvement of Permian Phosphoria Formation Oil as a Source of REE and other metals associated with complex U-V mineralization in the Northern Bighorn Basin *Minerals*, **7**(12), 232. <https://doi.org/10.3390/min7120232>
- Perkins R.B., Foster A.L. (2004) Mineral affinities and distribution of selenium and other trace elements in black shale and phosphorite of the Phosphoria formation. *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, **8**, 251-295. [https://doi.org/10.1016/S1874-2734\(04\)80012-3](https://doi.org/10.1016/S1874-2734(04)80012-3)
- Piper D.Z., Medrano M.D. (1994) Geochemistry of the Phosphoria Formation at Montpelier Canyon, Idaho. *United States Geol. Surv. Bull.* 2023-B, 28. <https://doi.org/10.3133/b2023B>
- Piper D.Z., Perkins R.B., Rowe H.D. (2007) Rare-earth elements in the Permian Phosphoria Formation: Paleo proxies of ocean geochemistry. *Deep-Sea Res. II*, **54**, 1396-1413. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.04.012>
- Wardlaw B.R., Collinson J.W. (1986) Paleontology and deposition of the Phosphoria Formation. Contributions to Geology – University of Wyoming, Laramie. *Rocky Mount. Geol.*, **24**(2), 107-142.
- REFERENCES
- Ankusheva N.N., Palenova E.E., Pankrushina E.A., Shanina S.N. (2019) Conditions of formation of ore and berudic quartz veins of the Krasnoe gold deposit (Eastern Siberia) according to thermobarogeochemistry and isotopy. *Mineralogy*, **1**(5), 58-71. (In Russ.)
- Baturin G.N., Asavin A.M., Kolesov G.M. (2006b) Noble metals in recent and ancient phosphorites. *Dokl. Akad. Nauk*, (407), 384-387. (In Russ.)
- Baturin G.N., Dubinchuk V.T. (1979) Microstructures of ocean phosphorites. Moscow, 199 p. (In Russ.)
- Baturin G.N., Dubinchuk V.T. (2006) Forms of gold and platinum in phosphorites of the Namibian shelf. *Dokl. Akad. Nauk*, **206**(5), 659-662. (In Russ.)
- Baturin G.N., Kolesov G.M. (2009) Noble metals in Fe-Mn and phosphate deposits of the ocean. *Materials of the XVIII International Scientific Conference*, 232-235. (In Russ.)
- Bazarova Zh.G., Dorzhieva S.G., Amgalan Zh., Tatari-nov A.V., Enkhtuyaa D., Yalovikt M.I., Karmanov I.S. (2009) Changes in the chemical composition of gold-bearing phosphorites during mechanical activation. *Vestn. VGU*, (3), 90-97. (In Russ.)
- Belnitskaya G.A., Petrov O.A., Sobolev N.N. Reef, salt-bearing and black shale formations of Russia. (2015) *Tr. VSEGEI*, **355**, 624. (In Russ.)
- Benevol'skii B.I., Ivanov V.N. (1999) The gold resources base in Russia at the turn of the XXlth century. *Mineral'nye Resursy Rossii: Ekonomika i Upravlenie*, (1), 9-16. (In Russ.)
- Bliskovskii V.Z. (1983) Material composition and enrichment of phosphorite ores. Moscow, 200 p. (In Russ.)
- Bondarenko S.V., Zolotareva G.S. (2018) Distribution of associated gold in titanium-zirconium sands of the Central placer (Tambov region). *Vestn. VGU, ser. Geol.*, (3), 66-73. (In Russ.)
- Bryukhanov N.N. (2015) Geochemistry of dispersed organic matter in gold ore deposits of black shale formations. *Dokl. Akad. Nauk*, **463**(6), 692-695. (In Russ.)
- Budyak A.E., Goryachev N.A., Razvozzhaeva E.A., Spiridonov A.M., Sotskaya O.T., Evseev V.V., Nemerov V.K., Serebrennikova O.V. (2008) Geochemistry of dispersed organic matter in gold deposits of black shale formations. *Dokl. Akad. Nauk*, **463**(6), 692-695. (In Russ.)
- Bugina V.M., Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2016) Litho-chemical characteristics of deposits of karst phosphorite deposits of the Kharanur deposit (Southeastern Sayans). *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, (8), 33-37. (In Russ.)
- Bushinskii G.I. (1969) Formation of Phosphoria. Moscow, Nauka Publ., 112 p. (In Russ.)
- Cherepanov A.A., Berdnikov N.V., Shtareva A.V. (2019) Rare earth elements and hydrogen metals in phosphorites of the Gremuchii occurrence (Maly Khingan, Russian Far East). *Tikhookean. Geol.*, **38**(6), 99-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2019-38-6-99-107>
- Chereshinskii A.V. (2014) On the problem of endogenous ore formation of the Voronezh anticline. *Vestn. VGU. Ser. Geol.*, (4), 66-72. (In Russ.)
- Chereshinskii A.V., Shevyrev L.T., Savko A.D. (2021) Ultra-fine gold in the sedimentary cover of the Voronezh anticline. *Vestn. VGU. Ser. Geol.*, (1), 4-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3334>
- Claypool G.E., Love A.H., Maughan E.K. (1978) Organic Geochemistry, Incipient Metamorphism, and Oil Generation in Black Shale Members of Phosphoria Formation, Western Interior United States *Geol. AAPG Bull.*, **62**(1), 98-120. <https://doi.org/10.1306/C1EA4801-16C9-11D7-8645000102C1865D>
- Dolzhenko V.N. (2008) New data on the geochemistry of the placers of the Unechskoye deposit and their gold con-

- tent potential. *Vestn. Bryanskogo Univ.*, (4), 128-131. (In Russ.)
- D'yachkov B.A., Mizernaya M.A., Rafailovich M.S. (2011) Large gold deposits in the black shale strata. Conditions of formation, signs of similarity. Almaty, 272 p. (In Russ.)
- Evseev V.V., Nemerov V.K., Serebrennikova O.V. (2008) Features of the composition of organic matter and distribution of rare metals in ancient black shale formations of Siberia. *Neftegazovoe Delo*, p. 1-9. (In Russ.) http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Evseev/Evseev_1.pdf
- Fedoseev I.I. (2014) Paleogeographic conditions for the formation of associated placer gold deposits in the Upper Oka basin. Cand. geogr. sci. diss. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 125 p. (In Russ.)
- Felitsyn S.B. (2006) Gold content in the phosphorite nodules of the Vendian-Cambrian of the East European Platform. *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 468-474. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0024490206050026>
- Felitsyn S.V., Alfimova N.A. (2022) Gold in biogenic apatites of the Baltic-Ladoga phosphorite basin. *Zapiski Gornogo Instituta*, **255**, 470-475. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.31897/PMI.2022.47>
- Felitsyn S.B., Pshenichnova T.G. (1992) Gold content in organic matter and clay shales from some reference sections of the Upper Vendian of the Russian Platform. *Dokl. Akad. Nauk*, **324**(6) 1304-1308. (In Russ.)
- Fomichev V.I. (2006) Features of the structure and localization of mineralization of the gold-platinum giant Sukhoi Log from the standpoint of tectonofacial analysis. *Geologiya i Poleznye Iskopaemye Mirovogo Okeana*, (4), 126-136. (In Russ.)
- Georgievskii A.F., Bugina V.M. (2019) Aphanitic genetic type of industrial phosphorites and conditions for their formation in the Okino-Khubsugul basin. Moscow, RUDN Univ. Publ., 294 p. (In Russ.)
- Gorenkov N.L., Turlychkin V.M., Pevzner G.N. (1998) Study of the metallicity of phosphorus-bearing glauconite sands for gold, uranium, rare and trace elements of the Ukolovskoye deposit. Tula, 57 p. (In Russ.)
- Grebenshchikova V.I., Matel' N.L. (1998) New data on the deposition conditions and composition of ore-forming fluids of gold-platinum mineralization of the Sukhoi Log deposit. *Dokl. Akad. Nauk*, **371**(1), 88-92. (In Russ.)
- Ikonnikov N.N. (1987) Placer productive formations of the sedimentary cover of the Russian plate. *Materials of 8th meeting on the geology of placers*. Kiev, 249-251. (In Russ.)
- Ikonnikov N.N., Osaulenko O.V., Prokof'eva N.I. (1991) Experimental and methodological work on the development of methods of prospecting and technology of enrichment of phosphate titanium-zirconium placers on the example of objects in the south-western part of the Moscow syncline (Bryansk region). Moscow, 190 p. (In Russ.)
- Il'in A.V. (2004) Khubsugul phosphorite-bearing basin (new data and representations). *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 523-538. (In Russ.)
- Il'in A.V., Volkov R.I. (1978) The upper riphean rift of Darkhat-Khubsugul. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **238**(6), 1422-1425. (In Russ.)
- Ivanov A.I., Alekseev Ya.V., Chernykh A.V., Naumov E.A. (2022) Russian gold deposits – aspects of discovery. *Otechestvennaya Geol.*, (3), 1-21. (In Russ.)
- Kabanova E.S., Plotnikova L.Ya. (1973) Geochemistry of impurity elements in phosphorites. *Itogi Nauki i Tekhniki*, (7). VINITI AN SSSR, 143-191. (In Russ.)
- Kal'nienko S.S., Ivanov N.M., Filippov V.P. (1995) The main types of gold-bearing deposits of the sedimentary cover of the central part of the East European Platform. *Rudy i Metally*, (6), 5-13. (In Russ.)
- Karpenko I.A., Cheremisin A.A., Kulikov D.A. (2008) Morphology, mode of occurrence, and internal structure of ore bodies at the Sukhoi Log deposit. *Rudy i Metally*, (2), 11-16. (In Russ.)
- Ketris M.P., Yudovich Ya.E. (2009) Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. *Int. J. Coal. Geol.*, **78**(2) 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.01.002>
- Kholodov V.N., Bliskovskii V.Z. (1976) Geochemistry of impurity elements in phosphorite-bearing formations. *Lithology of phosphorite-bearing deposits*. Moscow, 29-42. (In Russ.)
- Kizil'shtein L.Ya. (2017) Gold and organic matter in the earth crust. *Priroda*, **1226**(10), 63-65. (In Russ.)
- Kizil'shtein L.Ya. (2000) The role of organic matter in the formation of gold deposits (on the example of black shales). *Ross. Khimicheskii Zhurn.*, **XLIV**(3), 108-114. (In Russ.)
- Konstantinov V.M., Kazakov A.A., Novikov V.M., Trubkin N.V. (2005) Gold in phosphorites of the Kingiseppskoye deposit of the Russian Platform. *Otechestvennaya Geol.*, (6), 48-51. (In Russ.)
- Konstantinovskii A.A. (1999) The potential of gold bearing of platform quartz-sand formations. *Rudy i Metally* (1), 48-51. (In Russ.)
- Kovalenko D.N., Latish U.K. (1973) To the question of the gold content of phosphorites of Ukraine. *Dokl. AN Ukr. SSR*, **5**(10), 885-887. (In Russ.)
- Kovalenko D.N., Seenov V.G. (1964) Phosphorites of Ukraine. Kiev, Naukova Dumka, 179 p. (In Ukr.)
- Laverov N.P., Distler V.V., Mitrofanov G.L. (1999) Platinum and native metals of the Sukhoi Log deposit. *Nauka v Rossii*, (2), 128-130. (In Russ.)
- Laverov N.P., Prokof'ev V.Yu., Distler V.V., Yurovskaya M.A., Spiridonov A.M., Grebenshchikov V.I., Matel' N.L. (2000) New data on ore deposition conditions and composition of ore-forming fluids of the gold-platinum deposit Sukhoi Log. *Dokl. Akad. Nauk*, **371**(1), 88-92. (In Russ.)
- Lillis P.G., Selby D. (2013) Evaluation of the rhenium-osmium geochronometer in the Phosphoria petroleum system, Bighorn Basin of Wyoming and Montana, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **118**, 312-330. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.04.021>
- Litovchenko N.I., Kleimenov V.M., Goretskov N.L. (2001) Report on the results of work on the object "Study of overburden rocks of the Ukolovskoye phosphorite deposit for the purpose of their use in the national economy". Kursk, Tula NIGP Publ., 535 p. (In Russ.)
- Loskutov V.V. (1998) Geochemical anomalies in the sedimentary cover of the Voronezh antecline and their connection with zones of Phanerozoic tectonic activity. *Vestn. VGU. Ser. Geol.*, (6), 250-255. (In Russ.)
- Lushakov A.V., Byhovskii L.Z., Tiginov L.P. (2001) Non-traditional sources of the by-product obtaining of gold: problems and ways of their solving. Moscow, VIMS Publ., 82 p. (In Russ.)

- Marchenko L.G. (2017) Nanotechnology of extraction of precious metals from finely dispersed ores of deposits of the “black shale” type – a nature-like technology. *Zoloto i Tekhnologii*, **37**(3), 138-148. (In Russ.)
- Maughan E.K. (1983) Geological setting of oil shales in the Permian phosphoria formation and some of the geochemistry of these rocks. *Conf. Paper USGS Publ. Warehouse*, **28**(1), 74-76.
- McKelvey V.E., Strobell Jr. J.D., Slaughter A.L. (1986) The vanadiferous zone of the Phosphoria Formation in western Wyoming and southeastern Idaho. U.S. Geological Survey professional paper, Washington, USA government printing office, 27 p. <https://doi.org/10.3133/pp1465>
- Mel'nikova A.V. (2000) Gold-bearing phosphorites of the central part of the Russian platform – a peculiar type of intermediate reservoir. *XII International Meeting on the geology of placers and weathering crust*. Moscow, 234 p. (In Russ.)
- Mironov A.A., Mironova E.A. (2017) Geological structure and minerals of the Kharanur ore field. *Razvedka i Okhrana Nedr*, (9), 17-27. (In Russ.)
- Mironov A.A., Shulyak G.B. (2010) Gold-bearing weathering crusts of mountain Buryatia. *Zolotodobycha*, (135), 4-7. (In Russ.)
- Moore-Nall A.L., Tsosie R.L. (2017) Possible involvement of Permian Phosphoria Formation Oil as a Source of REE and other metals associated with complex U-V mineralization in the Northern Bighorn Basin. *Minerals*, **7**(12), 232. <https://doi.org/10.3390/min7120232>
- Nenakhov V.M., Zolotareva G.S., Dubkov A.A. (2021) Black shales of the Sukholozhsky type and their noble-metal potential: the current state of knowledge, technological realities, and prospects. *Vestn. VGU. Ser. Geol.*, (1), 53-64. (In Russ.) <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3337>
- Nenakhova E.V., Sakhno V.G., Kalashnikov Yu.D., Nenakhov V.M., Kuznetsov A.Yu. (2018) Self-assembly of nanodisperse forms of platinoids as a method of their extraction on the example of gold-silver ores of the Milogradovskoye occurrence (Primorsky Krai). *Vestn. VGU. Ser. Geol.*, (4), 102-106. (In Russ.)
- Patyk-Kara N.G., Levchenko E.N., Stekhin A.I. (2008) Mineral assemblages of titanium-zirconium sands at the Central'noye deposit, the East European platform. *Geologiya Rydnykh Mestorozhdenii*, (3), 246-270. (In Russ.)
- Piper D.Z., Perkins R.B., Rowe H.D. (2007) Rare-earth elements in the Permian Phosphoria Formation: Paleoproxies of ocean geochemistry. *Deep-Sea Res. II*, **54**, 1396-1413 <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.04.012>
- Piper D.Z., Medrano M.D. (1994) Geochemistry of the Phosphoria Formation at Montpelier Canyon, Idaho. *United States Geol. Surv. Bull. 2023-B*, 28. <https://doi.org/10.3133/b2023B>
- Perkins R.B., Foster A.L. (2004) Mineral affinities and distribution of selenium and other trace elements in black shale and phosphorite of the Phosphoria formation. *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, **8**, 251-295. [https://doi.org/10.1016/S1874-2734\(04\)80012-3](https://doi.org/10.1016/S1874-2734(04)80012-3)
- Popova M.V., Razvozzhaeva E.A., Mitrofanova A.Yu., Plotnikova L.P. (2002) Organic matter as a source of gold in the formation of deposits of Central Aldan. *Geokhimiya*, (11), 1209-1217. (In Russ.)
- Pryamonosov A.P., Stepanov A.E., Telegina T.V., Kuznetsov V.I., Grigor'ev V.V., Abaturova I.V., Kuznetsova E.Ya. (2001) State geological map of the Russian Federation scale 1 : 200 000. Second edition. The Polar-Ural series. Sheet Q-41-XII. Explanatory note. St.Petersburg, 213 p. (In Russ.)
- Savko A.D., Shevyrev L.T. (2010) Geochemical features of ultrafine gold and intermetallic compound from the sedimentary cover of the Voronezh antecline. *Izvestiya VUZov. Geologiya i Razvedka*, (5), 14-21. (In Russ.)
- Savko A.D., Shevyrev L.T. (2001) Ultrafine gold. *Tr. NII Geologii VGU*, (6), Voronezh, 151 p. (In Russ.)
- Savko A.D., Shevyrev L.T., Il'yash V.V., Bozhko E.N. (1996) Gold and rare minerals in the sedimentary cover of the Voronezh antecline. *Vestn. VGU. Ser. Geol.*, (1), 133-137. (In Russ.)
- Savko A.D., Shevyrev L.T., Il'yash V.V., Loskutov V.V. (2000) Exhalation-sedimentary metalliferous content of the Voronezh antecline – new horizons of prospecting for ore deposits in the sedimentary cover. *Vestn. VGU. Ser. Geol.*, **5**(10), 126-136. (In Russ.)
- Shatrov V.A., Sirotnin V.I., Voitsekhovskii G.V. (2002) Nodules of the sedimentary cover of the Voronezh antecline as geochemical indicators of zones of increased permeability of the Earth's crust. *Dokl. Akad. Nauk*, **385**(4), 521-523. (In Russ.)
- Shirshov A.A., Ikonnikov N.I., Krasnov A.A., Shmel'kova Yu.F., Asipov A.A. (1990) Geological and mineralogical features of Upper Cretaceous phosphorite ores of the Central part of the East European Platform. *Epochs of industrial phosphate formation and prospects for the development of the raw material base*. Cherkassy, 57-59. (In Russ.)
- Shkol'nik E.L., Abdel Moghin M.V. (2012) Gold and silver in Meso-Cenozoic phosphorites of North Africa. *Ural'skii Geologicheskii Zhurnal*, (5), 14-12. (In Russ.)
- Tagirov B.R. (2020) Behavior of noble metals (Au, Pd, Pt) in hydrothermal fluids. *Doc. geol. and min. sci. diss. Moscow, IGEM RAN Publ.*, 204 p. (In Russ.)
- Turlychkin Z.M., Gorenkov N.L. (1999) Phosphorites – adsorbents of gold and reducing agents to free metal. *Geol. Vestn. Tsentral'nykh Raionov Rossii*, (3), 14-17. (In Russ.)
- Varshal G.M., Velyukhanova T.K., Korochantsev A.V. et al. (1995) On the relationship of the sorption capacity of carbonaceous matter of rocks in relation to noble metals with its structure. *Geokhimiya*, (8), 1191-1198. (In Russ.)
- Wardlaw B.R., Collinson J.W. (1986) Paleontology and deposition of the Phosphoria Formation. *Contributions to Geology – University of Wyoming, Laramie. Rocky Mount. Geol.*, **24**(2), 107-142.
- Wood B.A., Popov N.P. (2006) Giant gold deposit Sukhoi Log (Siberia). *Geol. Geofiz.*, **47**(3), 315-341. (In Russ.)
- Yanshin A.L., Zanin Ju.N., Sokolov A.S. (1979) Material composition of phosphorites. *Novosibirsk, Nauka Publ.*, 193 p. (In Russ.)
- Yasyrev A.P. (1967) Gold and silver in phosphorites of the Russian Platform. *Tr. TsNIGRI*, **72**, 123-158. (In Russ.)
- Yasyrev A.P. (1969) Impurity elements in Meso-Cenozoic phosphorites of the Russian platform. *Cand. geol. sci. author. diss. Tula, TsNIGRI Publ.*, 28 p. (In Russ.)
- Yasyrev A.P. (1968) On the gold content of Mesozoic nodular phosphorites of the Russian platform. *Dokl. Akad. Nauk*, **165**(6), 1354-1357. (In Russ.)
- Yasyrev A.P. (1971) The nodular phosphorites of the Russian platform as an intermediate collector of gold dur-

- ing placer formation. *Dokl. Akad. Nauk*, **199**(2), 452-455. (In Russ.)
- Yasyrev A.P. (1964) Trace elements in the formation and nodular phosphorites of some deposits of the Central regions of the RSFSR. *Litol. Polezn. Iskop.*, (3), 66-76. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E. (2000) Black shales in ore-genesis: are they a resource or barrier for gold? *Mineral'noe Syr'e Urala*, **6**(72), 3-11. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (1994) Elements-impurities in black shales. Ekaterinburg, Nauka Publ., 304 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (1988) Geochemistry of black shales. Leningrad, Nauka Publ., 272 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Mertz A.V. (1990) Geochemistry and ore genesis of gold in black shales. Syktyvkar, Geonauka Publ., 51 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Rybina N.V. (2020) Geochemistry of phosphorus. Syktyvkar, Geoprint Publ., 511 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Rybina N.V. (2018) Phosphorites and glauconite: the cause of paragenesis. *Vestn. Instituta Geologii Komi NTs UrO RAN*, **11**(287), 43-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-11-43-47>
- Zanin Yu.N. (1992) Petrography of phosphorites. Novosibirsk, Nauka Publ., 188 p. (In Russ.)
- Zanin Yu.N., Zamirailova A.G., Eder V.G. (2009). Trace elements in phosphate rocks of the Sofronovskoye deposit in the Polar Urals: distribution features and environmental assessment. *Lithosphere*, (6), 95-106. (In Russ.)