УДК 553.411:622.013

ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА В ТЕРРИГЕННО-КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ДЕВОНА ЗАПАДНОГО СКЛОНА УРАЛА

А. Ф. СМЕТАННИКОВ[1], *зав сектором технической минералогии, канд. геол.-минерал. наук, tm-djucha@mi-perm.ru*
А. С. БОРИСОВ[1], *аспирант*
Б. С. СУСЛОВ[2], *главный геолог*
Д. В. ОНОСОВ[1], *инженер*

[1] *Горный институт УрО РАН – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, Пермь, Россия*
[2] *АО «Геокарта-Пермь», Пермь, Россия*

Охарактеризованы разные методы исследований, позволяющие определить содержание золота в терригенно-карбонатных породах. Представлены результаты анализов для выявления промышленно значимых золотосодержащих объектов.

Ключевые слова: *терригенно-карбонатные породы, формы нахождения золота, органическое вещество, сапропелевый тип, пробирный анализ, пробирно-масс-спектрометрический анализ, шихта, хлориды, сульфидная минерализация.*
DOI: *10.17580/gzh.2018.06.11*

Введение

Проблема связи золота с органическим веществом (ОВ) для месторождений «карлинского» типа (стратиформные залежи, объединенные в золотоносную провинцию) освещена недостаточно.

Общей особенностью месторождений, отнесенных к «карлинскому» типу, является наличие терригенно-карбонатных вмещающих пород и органического вещества в виде битуминозных (углистых) прослоев и преимущественно сульфидного (пирит-арсенопиритового) типа золотого оруденения с тонкодисперсными включениями золота в сульфидах [1–4]. В России и Казахстане известны месторождения-аналоги данного типа – Суздальское [5], Воронцовское [6], Сухой Лог, Большевик [7] и др.

На западном склоне Урала развиты терригенно-карбонатные породы девонского возраста (известняки, алевролиты и коры выветривания по алевролитам) и проявлена золоторудная минерализация, свойственная месторождениям «карлинского» типа. Рудные концентрации представлены вкрапленной золотосульфидной минерализацией, часто в ассоциации с органическим веществом. В участках высокой концентрации органического вещества содержания золота, как правило, повышены.

Целью настоящего исследования является установление состава органического вещества (битуминологический анализ) и связи с ним золоторудной минерализации по керновым пробам на одном из перспективных участков (Ольховский) в девонских отложениях западного склона Урала, а также разработка комплекса аналитических методик, позволяющих выявить формы связи и определить содержание Au, связанного с органическими соединениями.

Результаты исследований

Ранее, в нерастворимых в воде остатках (НО) соляных пород Верхнекамского месторождения были выявлены промышленные содержания Au, Ag и металлов платиновой группы) в виде органических соединений, связанных с сульфатами кальция (гипс, ангидрит).

Органическое вещество представлено хлороформенными (ХБ) и спиртобензольными битумоидами (СББ) и является составным элементом НО соляных пород. Высокому содержанию НО соответствует и высокое содержание органического вещества [8]. Количество ХБ и СББ в разрезе Верхнекамского месторождения изменяется. В калийной залежи содержание ХБ в НО составляет от 0,06 до 0,36 %, СББ – от 0,12 до 0,32 %. Отношение ХБ/СББ не превышает единицы. Основная часть органического вещества соляных пород относится к сапропелевому типу.

Анализ благородных металлов (БМ) в органических соединениях связан с определенными трудностями [9–13]. При анализе традиционными методами, например атомно-спектральными, перевод исследуемой пробы в раствор связан с нагреванием, спеканием, растворением в кислотах, что способствует уничтожению (отжигу) органического вещества и потере БМ [14]. Поэтому были разработаны методические дополнения к пробирно-масс-спектрометрическому методу анализа – подшихтовка хлоридами, где хлориды смешиваются с анализируемым материалом до взаимодействия с окисью свинца. Затем подготовленный материал смешивается с окисью свинца и поступает на пробирную плавку. Хлориды выполняют двойную роль: защиты, препятствующей уходу БМ в возгоны; компонента, способствующего преобразованию БМ в анализируемую форму. На этот метод анализа был получен патент [14].

Связь БМ с сапропелевым типом органического вещества способствовала поиску других пород, распространенных на западном склоне Урала и содержащих органическое вещество. Это черные сланцы (сапропелевый тип органики) и медистые песчаники (гумусовый тип органики). В черных сланцах обнаружены промышленно значимые содержания Pt и Pd, а Au обнаружено в следовых количествах. В медистых песчаниках (основной толще) обнаружены платиновые металлы и Au, содержания которых составляли по Pt и Pd от 0,04 до 0,6 г/т, а Au – от 0,03 до 1,22 г/т. В вышележащей пачке песчаников, не содержащих меди, по отношению к основной толще медистых песчаников, обнаружены промышленно значимые содержания Au, Pt, Pd, связанные с органическими соединениями [15].

Табл. 1. Содержание золота в известняках, алевролитах и корах выветривания

Известняки		Алевролиты, песчаники		Коры выветривания	
№ пробы	Содержание Au, г/т	№ пробы	Содержание Au, г/т	№ пробы	Содержание Au, г/т
302-61	2,0	358-13,6	1,65	211-7	0,32
302-122	2,02	357-11	0,78	211-8	0,73
302-136	2,10	356-57,5	1,3	212-4	1,01
302-159	2,27	361-56,3	1,62	212-6	0,59
302-189	1,74	355-62,0	1,34	212-10	0,79
309-103	1,22	356-5.1	0,6	213-4,7	0,41
309-116	1,34	356-40	1,26	213-7,4	0,34
309-183	2,23	356-85,2	1,32	213-9,5	1,79

Табл. 2. Определение содержаний золота различными методами, г/т

Состав	Метод анализа			
	ААС	ПМС ИСП	ПМС ИСП с NaCl. Прямое определение	ПМС ИСП с NaCl. Пересчет
Известняк	0,098	1,26	0,17 (20 % шихты NaCl)	0,20
Алевролит	0,22	1,76	2,10 (48 % шихты NaCl	3,11
Кора	0,054	0,85	3,68 (30 % шихты NaCl)	4,78

В терригенно-карбонатных породах исследуемого участка ОВ связано с углеродисто-гидрослюдистыми метасоматитами. В зонах трещиноватости известняков отмечается черная колломорфная масса битуминозного вещества с пиритом. В известняках есть линзовидные включения и прожилки сильнопиритизированного битуминозного вещества. Алевролиты насыщены мелким углистым детритом, в глинистом цементе – примазки бурого битуминозного вещества. Наблюдается присутствие водорослевого детрита, мелких углистых частиц и включений колломорфного гумусового ОВ.

Битуминологический анализ алевролитов в лаборатории геоэкологии горнодобывающих регионов ГИ УрО РАН показал, что содержание ХБ составило 0,0147 %, СББ – 1,046 %. Как видно, основная доля битумоидов в алевролитах приходится на спиртобензольную фракцию.

По данным АО «КамНИИКИГС», в органическом веществе известняков содержание ХБ составляет (на породу) 0,156 %, СББ – 0,04 %. В алевролитах ХБ отсутствуют, а содержание СББ составляет 0,118 %. В карбонатных брекчиях содержание ХБ – 0,118 %, СББ – 0,08 %. Значительные содержания органического вещества зафиксированы и в корах выветривания. То есть для известняков более характерны хлороформенные битумоиды, для алевролитов – спиртобензольные.

Следует вывод о широком распространении в терригенно-карбонатных породах исследуемого участка ОВ сапропелевого и частично гумусового типа. Практически все высокие концентрации Au совмещаются с проявлениями органического вещества.

Распределение золота оценивалось по результатам опробования керна 18 поисковых скважин (3069 керновых проб). Анализ на Au проводили как пробирным, так и атомно-абсорбционным методом. Показанные содержания не превышали сотых и десятых долей грамма на тонну. С целью получения более достоверных результатов был использован пробирный анализ с шерберной плавкой и в конце этого – атомно-абсорбционный. Таким методом было проанализированы 202 пробы (Ольховский участок), среднее содержание Au по ним составляет 1,80 г/т.

Содержание Au менее 1 г/т зафиксировано в 23 пробах из 202 (среднее содержание 0,55 г/т). В **табл. 1** представлена часть анализов, показавших промышленно значимые содержания Au в известняках, алевролитах и песчаниках, а также в корах выветривания. Как видно из табл. 1, содержаний Au выше 2,5 г/т нет; концентрации для разных пород отличаются в небольшой степени. Связи с сульфидной минерализацией отсутствуют. Зависимость высоких содержаний золота от ОВ прослеживается.

Распределение золота по данным пробирного анализа с шерберной плавкой показывает, что есть интервалы с содержаниями более 1 г/т, свидетельствующие о возможности выделения блоков с балансовым содержанием Au. В то же время ряд проб (интервалов опробования) показывает содержания менее 1 г/т, т. е. забалансовые содержания. Из анализа положения этих интервалов следует, что в них присутствует большое количество органического вещества. Учитывая связь золота с сапропелевым типом органики, сделан вывод о неполном анализе всего объема золота при пробирном анализе с шерберной плавкой. Поэтому был проведен отбор материала из дубликатов проб уже проанализированных пробирным методом с шерберной плавкой, содержание Au в которых составляло не менее 1 г/т. Всего были отобраны 3 пробы из карбонатных пород, алевролитов и из кор выветривания по алевролитам соответственно. Пробы были проанализированы атомно-абсорбционным методом (ААС), пробирно-масс-спектрометрическим с индуктивно связанной плазмой (ПМС ИСП) и с подшихтовкой хлоридами (**табл. 2**).

Из данных табл. 2 видно, что анализ традиционным методом ААС показывает значимые содержания Au, но не промышленные (это I стадия исследований 3069 проб). С помощью анализа методом ПМС ИСП получены значения, сравнимые с результатами метода пробирного анализа с шерберной плавкой и в конце – атомно-абсорбционным. Иначе говоря, применение обоих методов дает равнозначные результаты.

С помощью метода ПМС ИСП с подшихтовкой хлоридами даже без пересчета получены результаты по корам и алевролитам, превышающие результаты от 2 до 5 раз и ПМС ИСП, и пробирного анализа с шерберной плавкой. Как видно, пробы, не содержащие карбонатов, показывают концентрацию Au, от 2 до 5 раз бóльшую. В пробе известняков содержание Au меньше, чем в прямом определении (очевидно в силу взаимодействия карбоната с NaCl и образования соды), поэтому в данном случае требуется применение подшихтовки хлоридами, не содержащими натрий.

Опираясь на результаты анализа ПМС ИСП с подшихтовкой хлоридами, можно утверждать, что интервалы опробования, характеризующиеся содержаниями Au 1–1,5 г/т, и интервалы с содержаниями ниже бортовых, в случае использования упомянутого метода показывают балансовые содержания. Это позволяет выделять промышленно значимые объекты и произвести оценку прогнозных ресурсов там, где ранее это было невозможно. В частности, перспектива оценки Ольховского участка как месторождения золота очевидна [16].

Обсуждение результатов

Результаты исследований показывают, что золото, связанное с органическим веществом, атомно-спектральными методами анализируется не в полной мере, поскольку при переводе проб в анализируемый раствор бóльшая часть золота теряется. Несколько исправляет положение пробирный метод с шерберной плавкой и атомно-абсорбционным – в конце. Специфика пробирного анализа с шерберной плавкой состоит в том, что в анализируемый материал при смешивании с окисью свинца (свинцовым глетом) добавляется покрышка в виде смеси буры и кальцинированной соды толщиной 2–6 мм, после чего смесь подвергают тигельной плавке. Фактически это также дополнительное шихтование, которое не позволяет уходить в возгоны части золота, связанного с органикой, либо тонкого. Этот метод применяют для анализа богатых руд, но в данном случае он не позволяет мигрировать хотя бы части БМ.

Полностью проанализировать все золото в органической форме возможно только ПМС ИСП с подшихтовкой хлоридами, позволяющим удержать и перевести в веркблей максимум Au, связанного с органическими соединениями. Поэтому более действенным способом является добавка шихты прямо в анализируемый материал и только потом – смешивание с глетом. При этом происходит химическая реакция – отжиг органики и образование кислоторастворимых соединений золота.

Из результатов исследований следует еще один важный вывод. Идентичность вещественного состава геологических и минеральных образований исследуемого участка и месторождений «карлинского» типа очевидна. Но наличие значительных количеств золота не в традиционной форме нахождения не означает отличие от данного типа. Наоборот, месторождения, отнесенные к этому типу, могут обладать дополнительным резервом запасов золота, связанного с органическими соединениями, поскольку и в классических месторождениях «карлинского» типа, и в российско-казахстанских аналогах также присутствует органическое вещество и связанное с ним золото. С учетом полученных результатов при исследовании руд подобных месторождений необходимо применять комплекс методов, позволяющий наиболее полно выявить содержания и запасы золота.

Поскольку в некоторых пробах были выявлены содержания металлов платиновой группы, а также учитывая наличие платиноидов в органическом веществе черных сланцев и медистых песчаников, необходимо планировать работы (исследования) и в этом направлении.

Выводы

1. В распределении золота в пределах исследуемого участка установлены две формы его нахождения: минерализация, свойственная месторождениям «карлинского» типа, где рудные концентрации представлены вкрапленной золотосульфидной минерализацией; и золото, связанное с органическим веществом.

2. Методологически правильное определение золота, связанного с ОВ, будет означать возможность выделения новых объектов с промышленными содержаниями и (или) выделения новых перспективных участков на поиски золота в терригенно-карбонатных породах западного склона Урала.

3. В качестве необходимого и достаточного аналитического комплекса рекомендуется пробирный анализ с шерберной плавкой и атомно-абсорбционным в конце и пробирно-масс-спектрометрический с подшихтовкой хлоридами. Последний необходим для определения содержания золота, связанного с органическими соединениями.

4. Перспективы оценки Ольховского участка как месторождения золота благоприятны. Кроме того, в исследуемом районе (Пашийская площадь) открыты новые участки с концентрациями золота, связанного с органическими соединениями.

Библиографический список

См. англ. блок. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 6, pp. 53–56
DOI: 10.17580/gzh.2018.06.11

Prospects of gold mining in the Devonian terrigene–carbonate rock mass on the western slope of the Urals

Information about authors
A. F. Smetannikov[1], Head of Industrial Mineralogy Sector, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, tm-djucha@mi-perm.ru
A. S. Borisov[1], Post-Graduate Student
B. S. Suslov[2], Chief Geologist
D. V. Onosov[1], Engineer
[1] Mining Institute, Perm Federal Research Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia
[2] Geokarta-Perm, Perm, Russia

Abstract
The article discusses the prospects of discovering gold deposits associated with organic matter of the sapropel type in terrigene-carbonate sediments of the Devonian age on the western slope of the Urals. A comparison is made with the analogous Carlin-type deposits and Russo–Kazakhstan deposits composed by ore impregnated with sulfides containing submicroscopic gold. The studies of gold in the Devonian terrigene-carbonate sediments have established that gold is mostly associated with organic matter both in carbonate and terrigene rocks, and in the weathering crusts.
It is established that the organic matter in these rocks is close in composition with the organic matter of the water insoluble residue of the Upper Kama deposit salt rocks. It is shown that the traditional methods of analysis reveal fairly low concentrations of gold, which do not allow allocation of commercially significant objects. The methods of assaying with scorification and with mass spectrometry and blending with chlorides produce gold recovery 2–5 times higher. Blending of the material under analysis with chlorides is carried out until interaction with lead oxide. Then, the material is mixed with lead oxide and melted. Chlorides play double role in the process: they prevent from transition of noble

metals to fumes and contribute to transformation of noble metals to the analyzed form. The sampling intervals characterized by high contents made it possible to assess the prospects of the Olkhovsky site of the Pashiyskaya area on the western slope of the Urals as a deposit of gold.
The purpose of this study is to develop a methodology for the identification of organic matter associated with gold and assessment of the role of gold associated with organic matter in the overall balance of gold in terrigene–carbonate sediments in terms of the study site (Olkhovsky).

Keywords: terrigene–carbonate rocks, gold forms, organic matter, sapropel type, assaying, assaying and mass-spectrometry, charge, chloride, sulfide mineralization.

References

1. Cline J. S., Hofstra A. H., Muntean J. L., Tosdal R. M., Hickey K. A. Carline-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models. *Society of Economic Geologists.* 2005. 100th Anniversary Volume. pp. 451–484.
2. Roberts R. J., Radtke A. S., Coats R. R. Gold-bearing deposits in north-central Nevada and southwestern Idaho. *Economic Geology.* 1971. Vol. 66. pp. 14–33.
3. Muntean J. L., Cline J. S., Simon A. C., Longo A. A. Magmatic-hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits. *Nature Geoscience.* 2011. Vol. 4, Iss. 2. pp. 122–127.
4. Volkov A. V., Sidorov A. A. Geological–genetic model of Carline-type gold deposit. *Litosfera.* 2016. No. 6. pp. 145–165.
5. Rafailovich M. S., Dyachkov B. A. Geological–structural model of the Suzdalskoe gold deposit in the Eastern Kazakhstan. *Izvestiya Natsionalnoi Akademii Nauk Pespubliki Kazakhstan. Seriya geologii i tekhnichskikh nauk.* 2011. No. 6. pp. 45–61.
6. Murzin V. V., Sazonov V. N., Ronkin Yu. L., Model of formation of the Vorontsovskoe gold deposit in the Urals (Carline-type): New data and problems. *Litosfera.* 2010. No. 6. pp. 66–73.
7. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Kolesnikova M. K., Korolyuk V. N. Gold content of arsenopyrite at gold–sulfide deposit in the Eastern Kazakhstan. *Geologiya i geofizika.* 2011. Vol. 52, No. 2. pp. 225–242.
8. Sedykh E. M., Smetannikov A. F., Bannykh L. N., Shanina S. N. Features of finding Au, Pt and Pd in slat rocks of the Upper Kama deposit. *Geokhimiya.* 2017. No. 4. pp. 363–367.
9. Ivanov V. V., Lukashova M. V. Bushkareva K. Yu., Zemskova L. A. Studying gold–carbon systems by the method of scanning electron microscopy. *Tsvetnye Metally.* 2016. No. 7. pp. 38–42. DOI: 10.17580/tsm.2016.07.04
10. Zhao L.-C., Wang J.-G., Li X., Zhang S., Zhang Z.-F. et al. Application of inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry/mass spectrometry to phase analysis of gold in gold ores. *Chinese Journal of Analytical Chemistry.* 2018. Vol. 46, Iss. 2. pp. 1801–1809.
11. Cheuquepán W., Martínez-Olivares J., Rodes A., Orts J. M. Squaric acid adsorption and oxidation at gold and platinum electrodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry.* 2018. Vol. 819. pp. 178–186.
12. Bas A. D., Ghali E., Choi Y. A review on electrochemical dissolution and passivation of gold during cyanidation in presence of sulphides and oxides. *Hydrometallurgy.* 2017. Vol. 172. pp. 30–44.
13. Carrino T. A., Crósta A. P., Toledo C. L. B., Silva A. M. Hyperspectral remote sensing applied to mineral exploration in southern Peru: A multiple data integration approach in the Chapi Chiara gold prospect. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* 2018. Vol. 64. pp. 287–300.
14. Smetannikov A. F., Serebryany B. L., Krasnoshtein A. E. Method of quantitative and qualitative determination of organic noble metal compounds in different composition rocks. Patent RF No. 2354967Applied: 18.09.2007. Published: 10.05.2009. Bulletin No. 13.
15. Smetannikov A. F., Shanina S. N. Problems of diagnostic analysis and extraction of organic noble metal compounds in some rocks. *IV Russian Conference on Organic Mineralogy with International Participation.* Chernogolovka. 2013. pp. 142–145. 5.
16. Petrov S. V., Kotlyarov I. D., Katsnelson A. B., Sen M. S. Forecasting price of gold in subsoil. *Obogashchenie Rud.* 2016. No. 2. pp. 3–8. DOI: 10.17580/or.2016.02.01

УДК 621.63:622.45

ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ РУДНИКОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Н. И. АЛЫМЕНКО, *ведущий научный сотрудник, проф., д-р техн. наук, nik.alymenko@yandex.ru*
А. А. КАМЕНСКИХ, *научный сотрудник, канд. техн. наук*

Горный институт УрО РАН – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, Пермь, Россия

Рассмотрены варианты проветривания при помощи эжекторной вентиляторной установки рудников, расположенных в северо-восточной части России. Приведены полученные зависимости для определения оптимальных параметров эжекторной вентиляторной установки с разными вентиляторами. Обосновано применение эжекторной вентиляторной установки в качестве главной установки для проветривания рудников, вскрытых штольнями или стволами небольшой протяженности.

Ключевые слова: *рудник, проветривание, вентиляторная установка, ствол, аэродинамическое сопротивление, способ проветривания, труднопроветриваемые зоны.*
DOI: *10.17580/gzh.2018.06.12*

Введение

Северо-восток России включает в себя Хабаровский край, Магаданскую область и Чукотский автономный округ. На данной территории расположено значительное число рудников по добыче олова, серебра, золота и других полезных ископаемых, для проветривания которых требуются одна или несколько главных вентиляторных установок (ГВУ). Применяются различные конструкции и типы вентиляторных установок для проветривания рудника или его части (отдельных горизонтов или пластов, выработок). При эквивалентном отверстии вентиляционной сети рудника около 1 м^2 используют ГВУ, разработанные для рудников и шахт с соразмерными аэродинамическими характеристиками [1]. Однако, если сопротивление вентиляционной сети или участка сети имеет эквивалентное отверстие более 1 м^2, могут применять в качестве ГВУ вентиляторные установки эжекторного типа

© Алыменко Н. И., Каменских А. А., 2018