

УДК 552.5:553.3/4

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ КОНТРОЛЯ ЗОЛОТО-ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

Проанализированы литологические факторы контроля золото-черносланцевых месторождений «мирового класса» по запасам золота различных регионов: Узбекистана (Мурунтау), Кыргызстана (Кумтор), Восточного Казахстана (Бакырчик), Енисейского кряжа (Олимпиада), Восточного Забайкалья (Сухой Лог), а также слабо изученных месторождений Салаира (Сунгай), Горного Алтая (Чойское, Лог № 26), Горной Шории (Кубанское) и других. Наиболее крупные золоторудные месторождения связаны с терригенно-углеродистой и кремнисто-углеродистой формациями. Углеродистое вещество вмещающих литологических юнитов создавало восстановительную среду рудоотложения и участвовало в переносе золота во флюидах в виде фуллеронов и комплексных металлоорганических соединений. Вариации изотопов серы из сульфидов месторождений золото-черносланцевых месторождений мира близки к сульфатной кривой морской воды древних бассейнов, за исключением месторождения Бакырчик, сера которого возникла не только за счёт сульфат-редукции морской воды, но и имела ювенильную природу.

Ключевые слова: литология пород, литологические формации, руды, золото, золото-черносланцевые месторождения, металлоорганические соединения, сера, изотопы серы

THE LITOLOGICAL FACTORS OF CONTROL GOLD-BLACK-SHALE ORES

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

The litological factors of control gold-black-shale deposits of «world-class» on assay values different regions of World analyzed: Uzbekistan (Muruntau), Kirgizstan (Kumtor), East Kazakhstan (Bakyrchik), Eniseyskii ridge (Olimpiada), East Transbaykalie (Sukhoy Log) and weak studied deposits of Salair (Sungay), Mountain Altay (Choykskoe, Log № 26), Mountain Shoria (Kubanskoje) and other. More large gold deposits connected with terrigen-carbonaceous rock and siliceous-carbonaceous rock formations. The carbonaceous material of country litological units created reduced conditions environment of ore deposition and took part in transporting of gold in fluids in species fullerons and metall-organical complexes. Variation of isotopes sulfur from sulphides of gold-black-shale deposits of World were near to sulphite-reduction of sea water, but it had juvenile nature.

Keywords: litological of rocks, litological formations, ores, gold-black-shale deposits, metall-organical complexes, sulfur, isotope of sulfur

Литологические факторы контроля различных геолого-промышленных типов оруденения полиметаллов, урана, молибдена, ванадия и других элементов играют существенную роль в формировании золото-сульфидных руд. Особенно велика эта роль в генерации золото-черносланцевого оруденения [2, 4, 7, 8, 10]. Этот геолого-промышленный тип оруденения формирует месторождения мирового класса по запасам золота (Бакырчик, Кумтор, Сухой Лог, Олимпиада), а также супергигантское месторождение Мурунтау с запасами золота около 6 тыс. тонн. Поэтому актуальность исследований по влиянию литологии на формирование золото-черносланцевого оруденения не вызывает сомнений. Особенно это актуально для слабо изученных объектов с проявлениями золото-черносланцевого оруденения, к каким относятся Горный Алтай, Салаир и Горная Шория.

Литологические факторы контроля золото-черносланцевого оруденения

Нами проанализированы особенности формационного состава вмещающих литологических юнитов ряда хорошо изученных

золото-черносланцевых месторождений (Мурунтау, Сухой Лог, Бакырчик и другие) и слабо изученных (не разведанных) объектов такого же геолого-промышленного типа Горного Алтая, Салаира и Горной Шории. Формационная принадлежность изученных объектов по их химизму отражена на рис. 1.

На петрохимической диаграмме А–S–C анализируемые породы тяготеют к разным полям. Хорошо изученные объекты крупных месторождений попадают в два поля: углистые сланцы месторождений Бакырчик и Олимпиады – терригенно-углеродистой, месторождений Мурунтау и Сухого Лога – в поле кремнисто-углеродистой формаций.

Породы черносланцевых образований девонского возраста Горной Шории и Горного Алтая полностью попадают в поле II терригенно-углеродистой формации. Породы венд-кембрийского возраста этих же регионов попадают в поля карбонатно-углеродистой и терригенно-углеродистой формаций (рис. 1). По мнению А.Ф. Коробейникова и В.В. Масленникова, такая двойственность составов пород соответствует переходному типу – принадлежности к терригенно-карбонатно-углеродистой формации [7]. Угле-

родистые сланцы печеркинской свиты (C_1) Салаира попадают в поле кремнисто-углеродистой формации. Сопоставление петрохимических показателей черносланцевых образований Горного Алтая и Горной Шории с другими регионами позволяет констатировать, что черносланцевые образования

девонского возраста относятся к черносланцевым толщам калиевой щёлочности, а венд-кембрийские – к толщам натровой щёлочности, по В.А. Буряку с соавторами [1]. К этому же натровому типу щёлочности относятся и углеродистые сланцы печеркинской свиты нижнего кембрия Салаира.

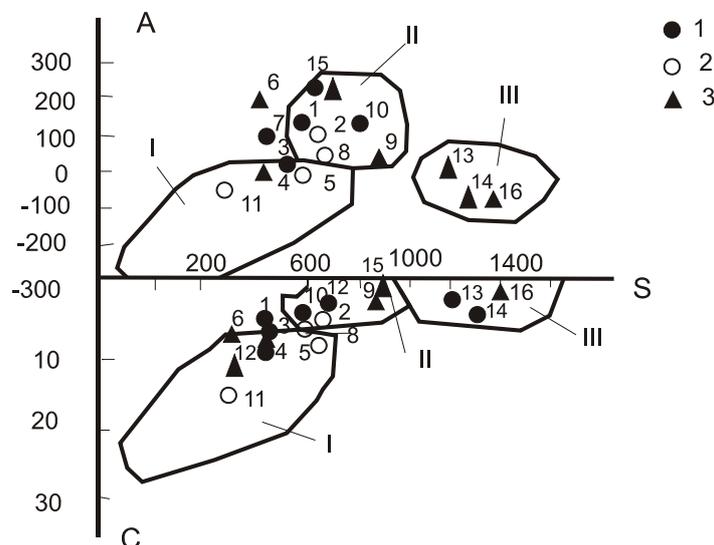


Рис. 1. Положение черносланцевых формаций на диаграмме A-S-C по [5]. $A = Al_2O_3 - (CaO + Na_2O + K_2O)$, $S = SiO_2 - (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + MgO + CaO)$, $C = CaO + MgO$. Поля углеродистых формаций: I – карбонатно-углеродистой, II – терригенно-углеродистой, III – кремнисто-углеродистой. Литологические типы пород: I – алевриты, 2 – песчаники, 3 – сланцы. Породы свит Горного Алтая и Горной Шории: 1–2 – камышенской (D_1), 3–5 м убинской (C_1), 6–8 – садринской (C_2), 9–11 – тыдтуяркской ($V-C_1$); 12 м серпуховской свиты (C_2) месторождения Бакырчик (Восточный Казахстан); 13 – беспанской свиты месторождения Мурунтау (Узбекистан); 14 – черносланцевых образований хомолхинской свиты (PR) месторождения Сухой Лог (Забайкалье); 15 – черносланцевых образований месторождения Олимпиада (PR) (Енисейский край); 16 – черносланцевых образований печеркинской свиты (C_1) (Салаир)

Характерной особенностью золото-черносланцевых месторождений являются тонко рассеянные вкрапленные, слоистые и линзовидные сульфидные образования, которые присутствуют в разных количествах на различных объектах.

Химический состав литологических разновидностей некоторых свит Горного Алтая и Горной Шории представлен в таблице. Для всех разновидностей приведенных свит характерно высокое соотношение $FeO:Fe_2O_3$, подтверждающее восстановленный характер среды осадконакопления. Сравнение составов пород показывает, что венд-кембрийские черносланцевые образования отличаются от девонских повышенной карбонатностью и кремнистостью. В них заметно более высокие концентрации фосфора и серы сульфидной. Ранее в некоторых из них отмечались эксгальационно-осадочные образования со значительным привнесом

большого спектра металлов [2]. Кроме того, в породах девонского возраста преобладает калий над натрием, а в древних образованиях картина обратная ($Na > K$).

Местами слоистые руды образуют своеобразный «рудный флиш». Вблизи разломов слоистые руды смяты в мелкие складочки до тонкой гофрировки. На некоторых месторождениях проявлены флюидизиты кварц-карбонат-графитового состава в виде прожилков мощностью от 1 до 5 см, сопровождаемые сульфидной минерализацией. Сами рудовмещающие углистые сланцы содержат мучнистый пирит I генерации, развитый по плоскостям сланцеватости. Нередко пирит образует сегрегационные скопления, которые постепенно переходят в линзочки и слойки. В крупных скоплениях пирита I появляется ильменит. Местами среди сланцев наблюдаются зёрна коллофана размером до 1 мм, реже отмечаются

линзочки и прослои сланцев, обогащённые коллофаном. В зоне также проявлена 2-я генерация пирита (комбинация куба и октаэдра, куба и пентагон-додекаэдра), образующая вкрапленность, линзочки и прослои мощностью до 0,1–0,5 см. Комбинированные формы пирита ассоциируют с марказитом, футлярообразным колломорфным пиритом и длиннопризматическим и игольчатым арсенопиритом в сланцах и алевросланцах. В этой же ассоциации отмечается редкая вкрапленность магнетита и пирротина. Чаще всего слоистые сульфидные руды в убинской свите локализуются в чёрных глинистых сланцах с содержаниями $S_{\text{орг}}$ от 0,5 до 5%, (среднее 2%), реже – свыше 5%. Концентрации сульфидной серы в сланцах за пределами зон сульфидизации варьируют от 0,05 до 0,5% (среднее 0,08%). Сульфиды в зонах золото-сульфидного типа представлены пиритом нескольких генераций, пирротином, реже – сфалеритом, халькопиритом, ильменитом, спорадически арсенопиритом. Они ассоциируют с кварцем, доломитом, анкеритом, реже – афросидеритом состава $(\text{Fe}_{2,4}\text{Mg}_{1,7})_{4,1}(\text{Al}_{1,6}\text{Fe}_{0,62}\text{Ti}_{0,18})_{2,48}\text{Al}_{1,2}\text{Si}_{3,53}\text{O}_{9,46}(\text{OH})_{8,85}$. Слоистые руды образуют тонкополосчатый «рудный флиш» с чередующи-

мися прослоями сульфидов мощностью от 1 до 15 мм, силицилитов (0,5–1 см мощностью), углистых сланцев (0,5–2 см). Иногда они смяты в мелкие складочки с амплитудой от 1 до 5 см. Нередко прослои сульфидов переходят в тонко-вкрапленные директивные образования моно- и дисульфидов железа среди углисто-глинистых сланцев. Местами отмечаются линзочки «мучнистого» (фрамбоидального) пирита длиной от 3 до 15 см и мощностью от 0,5 до 3 см с вкрапленностью ильменита. Углисто-глинистые сланцы, вмещающие слоистые руды и содержащие тонкорассеянные сульфиды, имеют молекулярные отношения S/C от 0,14 до 0,16, обнаруживая близкие значения этого показателя в пелагических осадках Чёрного моря, образовавшихся в условиях сероводородного заражения придонных вод. Аналогичное заражение вод H_2S предполагается и для палеобассейнов, в которых сформировались разрезы девона и кембрия Горного Алтая, Салаира и Горной Шории. Слоистые руды характеризуются повышенными содержаниями Cu (0,05–0,6%), Zn (0,03–0,9%), аномальными концентрациями Pb, W, Mo, V, Pb, Ag, Pt, Pd, Rh, Au. Содержания последнего варьируют от 0,05 до 3,5 г/т.

Химический состав пород черносланцевых формаций региона (мас. %)

Свиты, породы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	S сульф
<i>Убинская свита (C₁)</i>												
Сланцы N = 3	56,75	0,98	17,85	2,05	4,62	3,40	3,78	4,12	2,07	0,56	0,40	0,90
Алевролиты, N = 2	58,10	0,85	17,52	2,12	4,58	2,70	4,11	3,25	2,75	0,60	0,35	0,50
Песчаники, N = 2	65,02	0,83	15,10	1,47	3,52	2,28	3,80	3,42	1,70	0,52	0,50	0,40
<i>Садринская свита (C₂)</i>												
Сланцы, N = 3	56,80	1,11	18,10	1,91	4,22	3,32	4,23	4,25	1,87	0,45	0,40	0,82
Алевролиты, N = 2	58,65	0,92	17,60	2,05	4,70	2,90	4,10	3,80	1,97	0,42	0,20	0,31
Песчаники, N = 2	66,10	0,75	13,90	1,42	3,60	3,25	3,90	3,58	1,62	0,41	0,24	0,20
<i>Тыдтуярыкская свита (V- C₃)</i>												
Сланцы, N = 2	72,07	0,35	12,13	0,52	3,59	0,93	1,35	3,56	0,92	0,18	0,35	0,55
Алевролиты, N = 1	64,63	0,62	15,81	0,97	3,23	2,32	2,22	2,23	3,4	0,23	0,30	0,25
Песчаники, N = 1	50,16	0,51	13,92	1,32	5,09	4,19	11,69	2,85	0,06	0,10	0,35	0,25
<i>Камышенская свита (D₁)</i>												
Алевролиты, N = 4	58,47	0,95	17,32	2,11	4,50	3,13	2,80	2,25	3,10	0,07	0,60	0,20
Песчаники, N = 2	64,51	0,82	14,92	1,60	3,52	2,80	2,35	2,18	2,96	0,08	0,70	0,10

Примечание. Силикатные анализы выполнены в лаборатории Западно-Сибирского испытательного центра (г. Новокузнецк).

Марченко Л.Г. [9] изучены особые кластеры – кватароны и фуллероны, являющиеся основными строительными единицами кристаллов. В последнее время в земных условиях обнаружены фуллероны, часто

сопутствующие с шунгитом. Шунгиты глобулярного строения встречены на золоторудных месторождениях-гигантах – Бакырчикском, Мурунтау, Сухом Логу, Карлине. Глобули шунгита – сферолиты размерами

100–200 микрон, редко 400 микрон, стягиваются в сетки, ориентированные по кругу, или образуют цепочки, слойки. Самородное золото встречается в виде микросферул в шунгите и металлоорганических соединениях. Возможное существование фуллеренов и метафуллеренов в эндогенных процессах может определяться взрывными событиями. Это касается, в первую очередь, событий, сопровождающихся образованием кимберлитовых флюидизатов и трубок мантийного происхождения, с которыми связаны месторождения алмазов и редких элементов. Такие взрывные собы-

тия определяют образование углеродистых флюидизатов в зонах глубинных разломов. Развитые в этих зонах комплексные месторождения имеют ряд отличительных черт: частая совместная концентрация золота и платиноидов, восстановленный тип метасоматоза и длительная полихронная система формирования.

Нами проанализированы соотношения изотопов серы в сульфидах золото-черносланцевых месторождений с использованием опубликованных данных других исследователей и построена диаграмма (рис. 2).

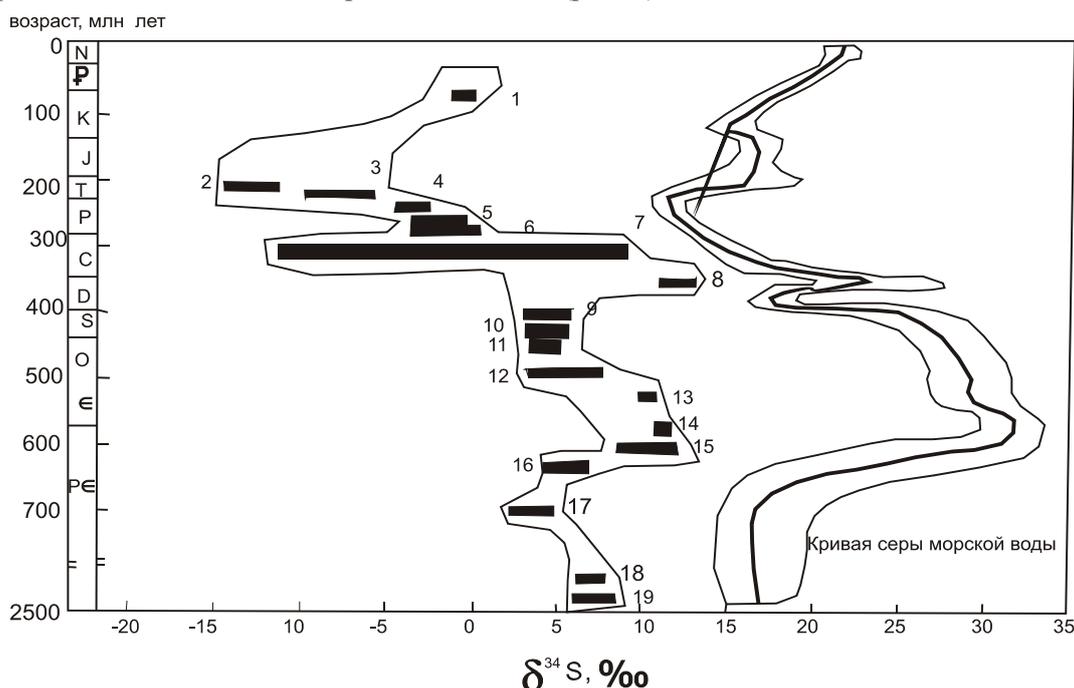


Рис. 2. Вариации составов изотопов серы в золоторудных месторождениях, залегающих в осадочных вмещающих породах (составлена с учётом данных [11]).
 1 – Чугач Терранс, 2 – Спенши Маунтейн, 3 – Джунеу, 4 – Наталка, 5 – Макраес, 6 – Нежданинское, 7 – Бакырчик, 8 – Фанинг, 9 – Чармитан, 10 – Мурунтау, 11 – Чойское, 12 – Бендиго, 13 – Бивер Дам, 14 – Сунгай, 15 – Сухой Лог, 16 – Кумтор, 17 – Телфер, 18 – Олимпиада, 19 – Хоумстейк

Вариации тяжёлого изотопа серы в сульфидах руд весьма широкие – от (–13,74) до (+ 11,59). Причём такие вариации характерны только для сульфидов месторождения Бакырчик. Во всех остальных объектах эти вариации имеют узкий интервал: от (–3) до (+ 8,2). Использование литературных источников по изотопам серы в золото-черносланцевых месторождениях показало, что вариации составов изотопов серы в сульфидах во времени (без данных по тяжёлому изотопу серы руд месторождения Бакырчик) близки к модели сульфатной кривой морской воды (Chang, Large, Maslennikov, 2008). Нанесение на диаграмму указанных авторов данных по месторождению Бакыр-

чик нарушает почти идеальную картину такого соответствия (см. рис. 2). Вероятно, для этого месторождения имелись, помимо сульфатной серы морской воды, и другие источники серы, поступавшей в сферу рудообразования.

Заключение

Таким образом, литология вмещающих пород золото-черносланцевого геолого-промышленного типа играет существенную роль в образовании руд золото-сульфидного состава. Доминирующую роль играет углеродистое вещество черносланцевых толщ, которое создаёт восстановительный режим в рудоотложении и вовлекается в последу-

ющий гидротермальный процесс, обогащающий и концентрирующий накопление золота в рудах. Накопление углеродистого вещества в чёрных сланцах происходило в условиях сероводородного заражения бассейнов. В последующем гидротермальном процессе углеродистое вещество присутствовало в составе фулеренов и металлоорганических соединений, переносивших золото во флюидах.

Химизм вмещающих пород золото-черносланцевых объектов венд-кембрийского уровня Горного Алтая, Салаира и Горной Шории наиболее близок к золоторудным объектам мирового класса с натровой специализацией (терригенно-углеродистой и кремнисто-углеродистой формаций). Они и являются более перспективными.

Важную роль в накоплении золота играли также первичные сульфиды (в особенности осадочный пирит фрамбоидальной микроструктуры). Изучение тяжёлого изотопа серы в сульфидах золото-черносланцевых месторождений различных регионов мира показало, что вариации изотопов серы близки к сульфатной кривой морской воды древних бассейнов на протяжении от докембрия до палеогена. Исключения составляют вариации изотопов серы месторождения Бакырчик. Руды этого месторождения, помимо сульфат-редукции серы, имели и другой источник, возможно, ювенильный.

Список литературы

1. Буряк В.А., Неменман С.Г. Метаморфизм и оруденение углеродистых толщ Приамурья. – Владивосток, 1988. – 116 с.
2. Гусев А.И., Рожченко В.А. Эксгальационно-осадочный рудогенез в разрезах кембрия и девона Горного Алтая, Салаира и Горной Шории / Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства. – Томск, 2001. – С. 211–214.
3. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск, Изд-во STT, 2003. – 308 с.
4. Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., Филищан Б.С. Новые вещественные типы руд благородных и редких металлов в углеродистых сланцах. – М.: Наука, 1992. – 167 с.
5. Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород: справочное пособие. – М.: Недра, 1985. – 511 с.
6. Коробейников А.Ф. Особенности распределения золота в породах черносланцевых формаций // Геохимия. – 1988. – № 11. – С. 1618–1625.
7. Коробейников А.Ф., Масленников В.В. Закономерности формирования и размещения месторождений благородных металлов северо-восточного Казахстана. – Томск, 1994. – 337 с.
8. Котов Н.В., Зверев Н.Ю., Порицкая Л.Г. Золото-черносланцевое рудообразование (Центральные Кызылкумы). – СПб.: Невский курьер, 1993. – 116 с.
9. Марченко Л.Г. Наноминералогия благородных металлов: проблемы образования и обогащения тонкодисперсных руд // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2005. – Т. 2. – С. 201–205.
10. Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М. Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. – М.: ЦНИГРИ, 1999. – 177 с.
11. Chang Z., Large R.R., Maslennikov V. Sulfur isotopes in sediment-hosted orogenic gold deposits: Evidence for an early timing and a seawater sulfur source // *Geology*. – 2008. – Vol. 36. – № 12. – P. 971–974.

References

1. Buryak V.A., Nemenman I.S., Parada S.G. Metamorfizm i orudnenie v uglerodistykh tolshc Priamurya. Vladivostok. 1988. 116 p.
2. Gusev A.I., Rozhenko V.A. Eksgalyacionno-osadochny rudogenez v razrezakh kembriya i devona Gornogo Altaya, Salaira i Gornoy Shorii // *Regionalnaya geologiya, geologiya mestorozheniy poleznykh iskopaemykh*. Tomsk, 2001. pp. 211–214.
3. Gusev A.I. Metallogeniya zolota Gornogo Altaya i yuzhnoi chasti Gornoy Shorii. Tomsk, 2003. 305 p.
4. Ermolaev N.P., Sozinov N.A., Phlitzijan B.S. Novye veshchestvennye tipy rud blagorodnykh i redkikh metallov v uglerodistykh slantsakh. M.: Nauka, 1992. 167 p.
5. Efremova S.V., Stafeyev K.G. Petrokhimicheskie metody issledovaniya gornykh porod. M. Nedra. 1985. 511 p.
6. Korobeinikov A.F. Osobennosti raspredeleniya zolota v porodakh chernoslantsevykh formatsiy // *Geokhimiya*, 1988. no. 11. pp. 1618–1625.
7. Korobeinikov A.F., Maslennikov V.V. Zakonomernosti formirovaniya i razmescheniya mestorozhdeniy blagorodnykh metallov severovostochnogo Kazakhstana. Tomsk. 1994. 337 p.
8. Kotov N.V., Zverev N.Yu., Poritskaya L.G. Zoloto-cher-noslantsevoe rudoobrazovanie (Tsentralnye Kyzylkumy). SPb., Nevskiy kurer, 1993. 116 p.
9. Marchenko L.G. Nanomineralogiya blagorodnykh metallov: problemy obrazovaniya i obogasheniya tonkodispersnykh rud // *Blagorodnye i redkie metally Sibiri i Dalnego Vostoka: rudoobrazujushchie sistemy mestorozhdeniy kompleksnykh i netradichionnykh tipov rud*. Irkutsk, 2005. pp. 205–208.
10. Novozhilov Yu.I., Gavrilov A.M. Zoloto-sulfidnye mestorozhdeniya d uglerodsto-terrigennykh tolschakh. M.: Nedra, 1999. 175 p.
11. Chang Z., Large R.R., Maslennikov V. Sulfur isotopes in sediment-hosted orogenic gold deposits: Evidence for an early timing and a seawater sulfur source // *Geology*. 2008. Vol. 36. no. 12. pp. 971–974.

Рецензенты:

Бочаров В.Л., д.г.-м.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет» Минобрнауки России, г. Воронеж;

Поцелуев А.А., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой общей геологии и землеустройства ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Работа поступила в редакцию 11.09.2012.