

УДК 549.6(553.411)

ПЕРВАЯ НАХОДКА ГРОТИТА В ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

© 2009 г. А. С. Вах, О. В. Авченко, А. А. Карабцов, В. А. Степанов

Представлено академиком А.И. Ханчуком 05.03.2009 г.

Поступило 24.03.2009 г.

Гротит — богатая алюминием и фтором разновидность титанита (сфена) с теоретической формулой $(Ca, REE)(Ti, Al, Fe)SiO_4(O, OH, F)$ [1] является довольно редким минералом, который ранее был неизвестен в рудах месторождений благородных металлов. Титаниты с высокими концентрациями алюминия (до 14 мас. %) и фтора (до 2.5 мас. %) характерны для эклогитов, доломитов и мраморов Австрии [2, 3]. Оловосодержащие минералы серии титанит–малайяит с теоретической формулой $CaSnO[SiO_4]$ широко известны в оловорудных скарновых месторождениях России и мира [4]. Своеобразный по составу фтор–глиноземистый титанит (с содержаниями Al_2O_3 от 9 до 13.5 мас. % и F от 3 до 5 мас. %), который может быть отнесен к гротиту, был выявлен в метаморфизованных углеродисто–кремнистых осадках кремневой формации Сихотэ–Алиня (Приморье) [5].

Гротит в благороднометалльных объектах впервые обнаружен при изучении минерального состава руд Березитового золотополиметаллического месторождения Верхнего Приамурья. Месторождение расположено на северо-восточном фланге Приамурской золоторудной провинции [6], в активизированных структурах юго-восточной части Северо-Азиатского кратона, в зоне сочленения его с образованиями северного обрамления Тукурингра–Джагдинского террейна Монголо–Охотского орогенного пояса [7]. Рудное тело месторождения представлено крупной субмеридиональной зоной минерализованных сульфидов метасоматических пород, локализованной в массиве раннепротерозойских порфировидных гранодиоритов. Зона состоит из двух крутопадающих воронкообразных тел, сопряженных вблизи поверхности, но выклиниваю-

щихся с глубиной (рис. 1). В плане зона имеет сложную линзовидную форму и крутое падение ($70^\circ–75^\circ$) в юго-западном направлении. Длина ее на поверхности достигает 950 м. Мощность зоны меняется от 10–15 до 110 м.

Метасоматиты месторождения представлены породами кварц–мусковитового состава с вкрапленностью альмандин–спессартинового граната и турмалина. Реже в составе пород в переменных количествах встречаются ортоклаз, хлорит, биотит, анортит, цинковая шпинель (железистый галенит), сфен, циркон, эпидот, алланит (ортит), пренит, фторапатит, флюорит и графит.

Зона метасоматитов месторождения повсеместно содержит в себе в виде сложных прожилков и гнезд полиметаллическую минерализацию. Основные минералы руд — сфалерит, галенит, пирит, пирротин, магнетит. По своему составу руды месторождения преимущественно цинковые, с подчиненным количеством свинца.

На месторождении выделено два типа золото–содержащих руд, существенно различающихся по структурной позиции, минеральному составу и степени золотоносности [8]. Первый (основной) тип представлен существенно полиметаллическим оруденением с сопутствующей золотой минерализацией, локализованным в пределах метасоматической зоны в виде сложного рудного штокверка. Второй золотосодержащий тип руд развит на месторождении крайне незначительно и имеет секущий характер по отношению к золотополиметаллическому оруденению. Рудные тела приурочены к субширотным разрывным нарушениям и находятся как в пределах метасоматической зоны, так и во вмещающих гранодиоритах. Они представлены маломощными жилами и тонкими прожилками сульфидного, кварц–сульфидного и кварц–гранат–сульфидного состава.

Гротит выявлен в обоих типах золотосодержащих руд месторождения, как непосредственно в метасоматических породах зоны с золотополиметаллическим оруденением, так и за ее пределами, в слабо измененных протерозойских гранодиоритах с золотосульфидной минерализацией. В рудной зоне гротит выявлен в ортоклаз–хлорит–

*Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток
Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук,
Петропавловск-Камчатский*

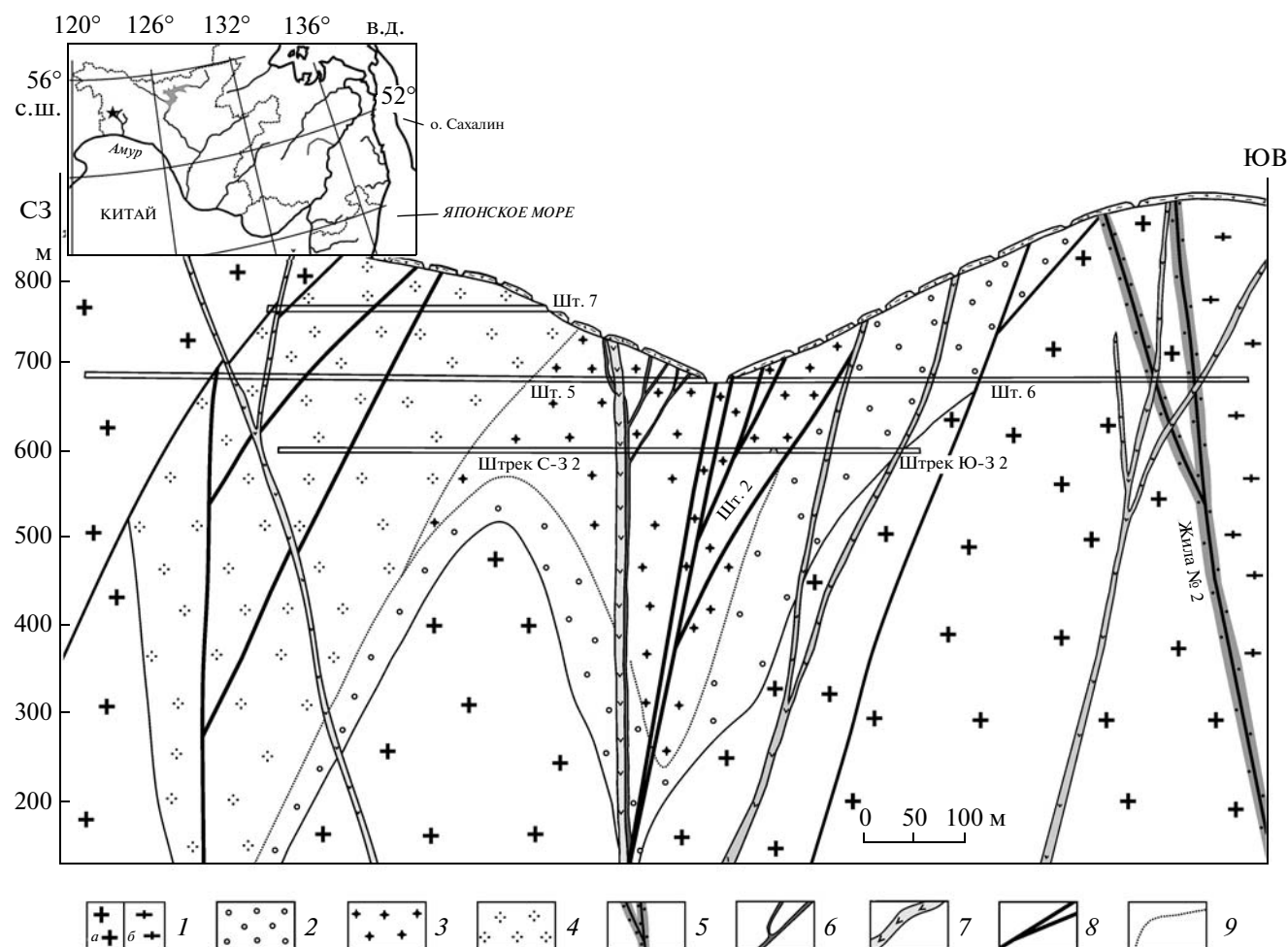


Рис. 1. Продольный разрез рудоносной зоны Березитового месторождения. 1 – порфировидные гранодиориты и граниты (а), гнейсовидные гранодиориты (б); 2–4 – основные типы рудно-метасоматических пород: 2 – турмалин-гранат-ортоклаз-мусковит-кварцевые с преимущественно пиритовой минерализацией, 3 – турмалин-гранат-мусковит-кварцевые с пирит-галенит-сфалеритовой минерализацией, 4 – турмалин-гранат-кварц-мусковитовые с пирит-пирротин-сфалеритовой минерализацией; 5 – слабозолотоносная кварцевая жила и околожильные мусковит-кварцевые измененные породы; 6 – гранатсодержащие дайки метапорфиров; 7 – дайки спессартитов и диоритовых порфиров; 8 – основные тектонические нарушения; 9 – границы контура распространения основных типов рудно-метасоматических пород. На врезке звездочкой показано географическое положение Березитового золотополиметаллического месторождения.

кварц-гранатовых минеральных “обособлениях”, которые довольно редко в виде единичных гнезд (размером не более первых сантиметров) встречаются в основной массе метасоматитов турмалин-гранат-мусковит-кварцевого состава с прожилково-вкрапленной галенит-сфалеритовой минерализацией. В отличие от вмещающих их метасоматитов, в составе рассматриваемых минеральных “обособлений” в значительных объемах появляются ортоклаз и хлорит, а количество граната резко увеличивается до 20–30%. За пределами рудоносной зоны гротит установлен в слабо измененных раннепротерозойских гранодиоритах, которые претерпели метасоматические преобразования на контакте с секущими их прожил-

ковыми золотосульфидными рудами. Руды представлены тонкими прерывистыми сульфидными прожилками (мощностью не более 10 мм), приуроченными к субширотным трещинам скальвания или отрыва. Метасоматические преобразования в гранитоидах фиксируются в их калишпатизации (образование вторичного ортоклаза по плагиоклазу), развитии хлорита по агрегатам первичного биотита и лейкоксенизации первичного титаниста.

В золотосодержащих рудах месторождения гротит находится в единой парагенетической ассоциации с хлоритом. В хлоритах метасоматических пород рудной зоны гротит присутствует в виде многочисленных рассеянных в нем пластин-

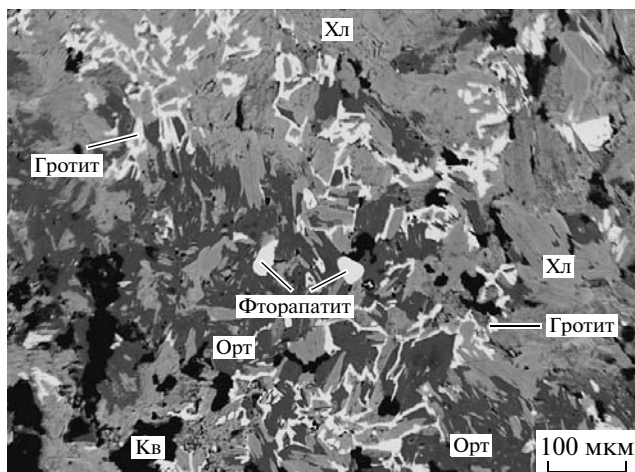


Рис. 2. Форма выделений гротита в кварц (Кв)-ортоклаз (Орт)-хлоритовой (Хл) минеральной ассоциации. Гротит развивается в межзерновом пространстве агрегатов хлорита, а также на контакте ортоклаза и хлорита. Изображение в обратно рассеянных электронах.

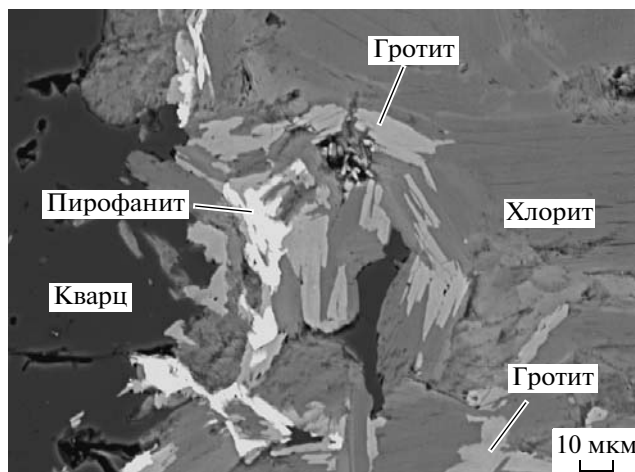


Рис. 3. Развитие пирофанита по агрегатам гротита. Изображение в обратно рассеянных электронах.

чатых агрегатов, которые развиваются в межзерновом пространстве, либо в форме сложных узких реакционных кайм, которые зачастую приурочены к контакту хлорита и ортоклаза (рис. 2). Размер выделений гротита от 20 до 50 мкм, реже до 100 мкм. Часто совместно с агрегатом гротита отмечается присутствие железистого пирофанита, который зачастую замещает его агрегаты (рис. 3).

Состав гротита в изученных образцах непостоянен. Содержание основных компонентов по результатам 22 анализов, выполненных в лаборатории рентгеновских методов Аналитического центра ДВГИ ДВО РАН с помощью рентгеноспектрального микроанализатора JXA-8100, изменяется в следующих пределах, мас. %: SiO₂ 30.56–34.07, Al₂O₃ 7.91–12.71, TiO₂ 22.83–28.29, CaO 23.55–29.21, FeO 0.52–4.25, F 2.19–6.16. Полученные микрозондовые анализы в целом хорошо согласуются с теоретической формулой гротита (табл. 1). Распределение основных компонентов в пределах одного зерна гомогенное.

В метасоматически измененных гранитоидах хлорит по своему составу может быть отнесен к смешанослойным слюдам биотит–хлорит с неравномерным неупорядоченным переслаиванием биотитовых и хлоритовых пакетов (табл. 1). Близкие по составу слюды с соотношением слоев биотита и хлорита 1 : 1 описаны в литературе как продукт хлоритизации биотита [9]. Гротит находится в агрегатах смешанослойных слюд биотит–хлорит, образуя в нем редкие пластинчатые удлиненные выделения вдоль спайности этого минерала. Размер агрегатов не превышает 10–20 мкм. Форма и характер выделений гротита в слюдах во многом аналогичны их выделениям в хлоритах из

метасоматических образований рудоносной зоны. Состав гротита хотя и не постоянен, однако характеризуется относительно узким интервалом изменений содержаний основных компонентов, мас. %: SiO₂ 31.87–32.87, Al₂O₃ 7.84–9.73, TiO₂ 23.29–27.54, CaO 26.42–28.42, FeO 0.93–1.87, F 2.70–3.59 (по данным 9 определений). Состав гротита из измененных гранитоидов, по отношению к гротитам из метасоматитов рудной зоны, характеризуется более низкими содержаниями фтора и алюминия (табл. 1).

Проведенные исследования показали, что одной из новых особенностей рудно-метасоматических пород Березитового месторождения является наличие в них своеобразного минерала титана – гротита, который ранее в составе руд месторождений золота никогда не фиксировался. Находка гротита в рудах Березитового месторождения является одним из минералогических подтверждений высказанной ранее авторами точки зрения о сложном полигенном генезисе месторождения [8]. Установлено, что на заключительной стадии его формирования первичные полиметаллические рудоносные образования претерпели высокотемпературные преобразования. Предполагается, что это явление обусловлено воздействием локального высокотемпературного гидротермального флюида, связанного, вероятнее всего, с процессами раннемелового магматизма, широко проявленного в районе.

Этот вывод подтверждается и находками фторглиноземистого титанита в метаморфизованных металлоносных осадках Приморья, где он находится в ассоциации с кварцем, барийсодержащим калиевым полевым шпатом, хлоритом, магнетитом, железистым пирофанитом, альмандин-спессартиновым гранатом. По набору минералов, слагающих эти образования, и по наличию в этих

Таблица 1. Химический состав гротита, пиррофанита и хлорита Березитового золотополиметаллического месторождения, мас. %

№ п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	MnO	FeO	K ₂ O	F	-O=F ₂	Сумма	Формула минерала
1	32.52	10.83	24.39		26.72		2.40		4.83	2.03	99.66	(Ca _{0,91} Fe _{0,07}) _{0,98} (Al _{0,41} Ti _{0,58}) _{0,99} Si _{1,03} O ₄ (O _{0,51} F _{0,49}) _{1,13}
2	31.91	8.44	27.98		28.36		1.17		2.70	1.14	99.42	(Ca _{0,97} Fe _{0,03}) _{1,00} (Al _{0,32} Ti _{0,67}) _{0,99} Si _{1,02} O ₄ (O _{0,69} F _{0,27}) _{0,96}
3	32.10	7.91	28.29		29.21		0.73		3.82	1.61	100.45	(Ca _{0,99} Fe _{0,02}) _{1,01} (Al _{0,30} Ti _{0,67}) _{0,97} Si _{1,09} O ₄ (O _{0,68} F _{0,38}) _{1,06}
4	31.67	10.71	24.68		28.74		0.80		3.22	1.36	98.46	(Ca _{0,98} Fe _{0,02}) _{1,00} (Al _{0,40} Ti _{0,59}) _{0,99} Si _{1,01} O ₄ (O _{0,60} F _{0,32}) _{0,92}
5	31.39	8.79	26.40		28.28		1.07		3.42	1.44	97.91	(Ca _{0,98} Fe _{0,03}) _{1,01} (Al _{0,33} Ti _{0,64}) _{0,97} Si _{1,00} O ₄ (O _{0,65} F _{0,35}) _{1,00}
6	31.53	8.72	27.06		28.37		1.11		3.20	1.35	98.64	(Ca _{0,98} Fe _{0,03}) _{1,01} (Al _{0,33} Ti _{0,65}) _{0,98} Si _{1,01} O ₄ (O _{0,66} F _{0,32}) _{0,98}
7	33.69	12.71	23.26		28.94		0.90		6.16	2.59	101.07	(Ca _{0,97} Fe _{0,02}) _{0,99} (Al _{0,47} Ti _{0,52}) _{0,99} Si _{1,02} O ₄ (O _{0,61} F _{0,55}) _{1,16}
8			48.06		0.49	26.75	17.97				93.27	(Fe _{0,41} Mn _{0,62}) _{1,03} (Ca _{0,01} Ti _{0,98}) _{0,99} O ₃
9			51.63		0.49	23.61	22.29				98.02	(Fe _{0,48} Mn _{0,51}) _{0,99} (Ca _{0,01} Ti _{1,00}) _{1,01} O ₃
10	27.17	18.99		15.67		1.77	23.04				86.64	(Mn _{0,16} Fe _{2,06} Mg _{2,49}) _{4,71} Al _{1,29} (OH) ₈ [Al _{1,10} Si _{2,90} O _{10,19}]
11	26.66	19.36		16.08		2.10	23.04				87.24	(Mn _{0,19} Fe _{2,04} Mg _{2,54}) _{4,77} Al _{1,23} (OH) ₈ [Al _{1,18} Si _{2,82} O _{10,06}]
12	26.33	19.12		15.61		1.56	23.31				85.93	(Mn _{0,14} Fe _{2,10} Mg _{2,50}) _{4,74} Al _{1,25} (OH) ₈ [Al _{1,17} Si _{2,83} O _{10,09}]
13	32.87	9.73	23.29		27.35		1.70		3.59	1.51	97.02	(Ca _{0,95} Fe _{0,05}) _{1,00} (Al _{0,37} Ti _{0,55}) _{0,92} Si _{1,07} O ₄ (O _{0,64} F _{0,37}) _{1,01}
14	31.57	8.57	27.12		28.42		0.99		3.26	1.33	98.60	(Ca _{0,98} Fe _{0,03}) _{1,01} (Al _{0,32} Ti _{0,66}) _{0,98} Si _{1,01} O ₄ (O _{0,66} F _{0,34}) _{1,00}
15	32.02	7.84	27.54		26.99		1.24		2.70	1.14	97.19	(Ca _{0,94} Fe _{0,03}) _{0,97} (Al _{0,30} Ti _{0,68}) _{0,98} Si _{1,04} O ₄ (O _{0,74} F _{0,28}) _{1,02}
16	31.87	8.32	26.78		26.98		1.62		2.98	1.25	97.3	(Ca _{0,94} Fe _{0,04}) _{0,98} (Al _{0,32} Ti _{0,66}) _{0,98} Si _{1,04} O ₄ (O _{0,71} F _{0,31}) _{1,02}
17	28.19	18.02	0.89	11.96		0.91	25.50	1.07			86.54	(K _{0,15} Mn _{0,08} Ti _{0,07} Fe _{2,33} Mg _{1,95}) _{4,59} Al _{1,41} (OH) ₈ [Al _{0,92} Si _{3,08} O _{10,49}]
18	29.81	18.70	0.89	12.57		0.97	21.86	2.51			87.31	(K _{0,34} Mn _{0,09} Ti _{0,07} Fe _{1,95} Mg _{2,00}) _{4,46} Al _{1,55} (OH) ₈ [Al _{0,81} Si _{3,19} O _{10,53}]
19	30.05	18.10	1.92	12.54		0.92	23.48	2.85			89.86	(K _{0,38} Mn _{0,08} Ti _{0,15} Fe _{2,05} Mg _{1,96}) _{4,62} Al _{1,37} (OH) ₈ [Al _{0,86} Si _{3,14} O _{10,44}]

Примечание. 1–12 – минералы из рудно-метасоматических образований зоны с золотополиметаллической минерализацией (1–7 – гротит; 8, 9 – пиррофанит; 10–12 – хлорит); 13–19 – минералы из измененных гранодиоритов с золотосульфидной минерализацией (13–16 – гротит; 17–19 – смешанослойная слюда биотит–хлорит).

ассоциациях гротита отмечаются определенные черты сходства этих пород с рудами Березитового месторождения. Формирование фтор-глиноземистого титанита в металлоносных осадках Приморья, по мнению Е.В. Перевозниковой и Н.В. Мирошниченко [5], обусловлено процессами контактового термального метаморфизма кремнисто-марганцовистых пород в связи с формированием гранитоидных интрузий.

Изучая условия образования глиноземистых титанитов в эклогитовых породах Австрии, Г. Франц и Ф. Спэр [2] пришли к заключению, что основным фактором, способствующим их появлению в минеральных парагенезисах, является величина давления фанерозойского метаморфизма, которая составляла порядка 18–22 кбар. Возрастание глиноземистости титанитов с увеличением давления было доказано ими экспериментально. Однако столь высокие значения давлений не характерны для рассматриваемых рудных систем. Нами предполагается, что появление гротита в рудных образованиях определяется, главным образом, химической активностью входящих в состав рудоносного флюида компонентов.

Возможно, повышенный потенциал фтора в термальном флюиде обусловил значительную подвижность в рудно-метасоматической системе такого инертного элемента, как титан, который в данном случае играет важную роль в формировании минерального состава рудоносных пород в виде летучего TiF_4 соединения. Это способствовало образованию в рудоносных породах не только простых оксидных форм титана (в виде ильменита, широко распространенного в рудах месторождения), но и более сложных многокомпонентных силикатных соединений.

Таким образом, проведенные исследования показали, что гротит служит важным типоморфным показателем проявления на Березитовом ме-

сторождении фторсодержащего флюида, способствующего на заключительном этапе перекристаллизации рудно-метасоматических пород и формированию золотой минерализации.

Авторы выражают благодарность руководству и геологическому персоналу ООО “Березитовый рудник” за оказанную помощь в проведении полевых работ на месторождении, а также сотрудникам лаборатории рентгеновских методов Аналитического центра ДВГИ ДВО РАН Г.Б. Молчановой и Н.И. Екимовой за консультации и помощь в аналитических работах.

Работа выполнена при поддержке Российскойского фонда фундаментальных исследований (проект 08–05–00106-а) и интеграционного гранта С СО РАН и УрО РАН № 09-П-СУ-08-003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gaines R.V.* Dana's New Mineralogy: the System of Mineralogy of J.D. Dana and E.S. Dana. N.Y.: Wiley, 1997.
2. *Franz G., Spear F.* // Chem. Geol. 1985. V. 50. № 1/3. P. 33–46.
3. *Castelli D., Rubatto D.* // Contribs Mineral. and Petrol. 2002. V. 142. № 6. P. 627–639.
4. *Александров С.М., Тронева М.А.* // Геохимия. 2007. № 10. С. 1100–1113.
5. *Перевозникова Е.В., Мирошниченко Н.В.* // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28. № 3. С. 101–105.
6. *Степанов В.А., Мельников А.В., Вах А.С. и др.* Приамурская золоторудная провинция. Благовещенск: АмГУ; НИГТЦ ДВО РАН, 2008. 323 с.
7. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
8. *Вах А.С., Степанов В.А., Авченко О.В.* // Руды и металлы. 2008. № 6. С. 44–55.
9. Минералы. Справочник. Т. 4. В. 2. Слоистые силикаты. М.: Наука, 1992. 661 с.