

УДК 552.11: 552:551:550.42

ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ И ПЕТРОЛОГИЯ ШОШОНИТОВЫХ ГРАНИТОИДОВ СУПЕРГИГАНТСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МУРУНТАУ

Гусев А.И., Гусев Н.И.

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

Впервые приведены петрохимические, петрологические данные и особенности флюидного режима шохонитовых гранитоидов супергигантского золоторудного месторождения Мурунтау (Узбекистан). Описаны интрузивные биотитовые граниты Сардаринского штока, аляскитовые граниты Мурунской интрузии, а также дайковые образования пёстрого состава: кварцевые диоритовые порфириды, кварцевые сиениты, керсантиты. По петрохимическим параметрам доминирующая часть пород диагностируется образованиями шохонитовой серии. Приведены определения абсолютных возрастов и соотношений изотопов Sr, Rb, Sm, Nd, Os, Re в гранитоидах, околорудных метасоматитах и некоторых рудных минералах. Во флюидном режиме рудогенерирующих гранитоидов отмечены высокие значения фугитивностей и парциальных давлений HCl, H₂O и CO₂. Магматогенные флюиды характеризовались высокой восстановленностью, обусловленной подтоком в глубинный очаг мантийных флюидов, вызванных функционированием плюма.

Ключевые слова: гранитоиды, шохонитовая серия, флюидный режим, фугитивность, парциальное давление, месторождение, изотопы Sr, Rb, Sm, Nd, Os, Re

FLUID REGIME AND PETROLOGY OF SHOSHONITIC GRANITOIDS SUPERGIANT GOLD DEPOSIT MURUNTAU

Gusev A.I., Gusev N.I.

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

The petrochemical, petrologic data and peculiarities of fluid regime of shoshonitic granitoids supergiant gold deposit Muruntau (Uzbekistan) lead in paper. The intrusive biotite granite of Sardarinskii boss, alaskite granite Murunskii intrusive, and dike motley composition: quartz diorite porphyrite, quartz sienite, kersantite described. Dominative part of rocks diagnosed as shoshonitic series. Definitions of absolute ages and ratio of isotopes Sr, Rb, Sm, Nd, Os, Re lead in granitoids, metasomatic rocks and ore minerals. The high meanings of fugacities, partial pressure HCl, H₂O and CO₂ marked in fluid regime of ore generating granitoids. Magmatic fluids characterized by high reduced that it caused by afflux mantle fluids in the deep-seated melting spot, proving by function plum.

Keywords: granitoids, shoshonitic series, fluid regime, fugacity, parcial pressure, deposit, isotopes Sr, Rb, Sm, Nd, Os, Re

Флюидный режим и петрология гранитоидов имеют важнейшее значение для генерации оруденения. Золоторудное месторождение Мурунтау (Узбекистан) относится к супергигантскому классу мировых объектов с запасами золота более 5,2 тыс. т. Не вызывает сомнения актуальность изучения петрологии и флюидного режима магматитов этого уникального месторождения. Ранее было установлено, что гранитоиды месторождения обнаруживают признаки абиссальной фации, формировавшиеся в обстановке плюмтектоники [2, 3].

Петрология и флюидный режим магматических образований месторождения

На дневной поверхности в рудном поле месторождения Мурунтау магматические тела представлены Сардаринским штоком биотитовых гранитов в 7 км к юго-востоку от месторождения, а также дайками, локализующимися в трёх поясах. Севернее и южнее месторождения трассируются обрамляющие рудное поле субширотные пояса, преимущественно, лампрофиров (керсантиты, реже – спессартиты). В центре рудного поля также субширотно про-

тягивается пояс даек пёстрого состава – от диоритов до аляскитов. В пределах рудного поля, локализованного в интрузивной позиции, скважинами на глубине выявлены биотитовые граниты Сардаринского штока, находящегося в 12–15 км к юго-востоку от месторождения. Глубокой скважиной СГ-10 в интервале глубин 4005–4294 м вскрыт Мурунский аляскитовый гранит.

Сардаринский биотитовый гранит представляет собой массивную полнокристаллическую, часто порфиroidную, породу, сложенную: (%) интрателлурическими выделениями калиевого полевого шпата (5–10) и основной ткани породы (90–95). Порфиroidные выделения размерами от 1 до 2 см в поперечнике представлены калиевым полевым шпатом (ортоклаз), нередко серицитизированным. Основная ткань породы сложена (в %): кварцем (33–36%), плагиоклазом (анортитом № 24–30) (35), калиевым полевым шпатом (25) и биотитом (4–10). Редко отмечается роговая обманка. Микроструктура основной ткани аллотриоморфнозернистая, местами диоритовая. Аксессуары представлены ильменитом, пиритом, апатитом, цирконом, сфеном.

Аляскитовые граниты Мурунского штока среднекристаллические тёмной и белой окраски. Состоят из (в%): кварца – 40–50, калиевого полевого шпата – 20–40, плагиоклаза (олигоклаза № 12–16), биотита (3–4), мусковита (до 1). Микроструктура аллотриоморфнозернистая. Аксессуары – апатит, циркон, сфен, пирит, пирротин, ильменит.

Диоритовые порфиры даек имеют зеленовато-серый цвет, мелкозернистые. Интрателлурических вкрапленников плагиоклаза и калиевого полевого шпата – 10%, основной ткани породы – 90%. Плагиоклаз вкрапленников представлен андезином-лабрадором. Состав основной ткани породы (в%): плагиоклаз (андезин 38–43) – 60–70, кварца – 5–7, калиевого полевого шпата (10–15), биотита (5–10). Микроструктура микродиоритовая, сложенная мозаикой кварца, полевого шпата и игольчатых выделений биотита, редко – мусковита. Аксессуары охватывают сфен, апатит, магнетит редко – циркон и ильменит.

Керсантиты даек в склоне Тамдытау имеют серый, зеленовато-серый цвет, среднекристаллическую основную ткань

и вкрапленники крупных чешуй биотита размерами до 1 и более см. Основная ткань породы сложена плагиоклазом, биотитом, карбонатом, кварцем. Вкрапленники биотита замещены по периферии хлоритом и эпидотом, а биотит основной ткани породы – серицитизирован. Спектр аксессуарных минералов представлен апатитом, ильменитом, сфеном, цирконом, пиритом.

Кварцевые сиенит-порфиры даек светло-розовой окраски, средне-мелкокристаллические. Во вкрапленниках калиевый полевой шпат размерами от 0,5 до 1 см. Основная ткань породы сложена калиевым полевым шпатом, кварцем, биотитом, редко – роговой обманкой. Аксессуары представлены ильменитом, сфеном, апатитом, цирконом.

В итоге петрографического описания пород следует указать, что по преобладанию в составе аксессуарив ильменита над магнетитом их следует относить к ильменитовой серии гранитоидов по С. Ишихара [7], и, следовательно, они характеризовались резко восстановленным режимом. Химический состав пород рудного поля Мурунтау сведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав магматических образований золоторудного поля Мурунтау
(оксиды в масс. %, элементы – в г/т)

Компоненты	Породы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	54,4	54,1	55,71	71,43	75,13	74,04	67,15	56,13	56,24
TiO ₂	1,1	0,45	0,30	0,18	0,14	0,13	0,75	0,36	0,33
Al ₂ O ₃	14,39	16,89	16,71	14,08	13,14	13,41	16,55	16,31	16,24
Fe ₂ O ₃	0,87	3,40	0,61	0,92	0,91	1,15	1,94	0,92	0,95
FeO	7,32	6,32	6,37	2,01	0,92	1,09	1,85	5,29	5,12
MnO	0,14	0,14	0,11	0,05	0,01	0,01	0,13	0,13	0,14
MgO	6,2	3,45	5,98	2,0	0,43	0,87	0,55	4,49	4,51
CaO	6,15	5,8	7,9	1,7	2,8	0,8	2,01	7,1	6,9
Na ₂ O	2,57	3,01	2,34	2,61	2,32	3,0	3,03	2,54	2,61
K ₂ O	2,55	2,77	2,86	4,72	4,54	4,9	8,41	3,87	3,92
P ₂ O ₅	0,21	0,08	0,06	0,03	0,03	0,02	0,23	0,06	0,07
Сумма	100,74	100,0	100,51	100,37	100,32	100,07	99,74	99,64	99,87
Li	25	24,5	24,2	35	15	14,5	28	37	40
Rb	109	94	97	190	368	264	189	166	170
Cs	3	4,7	5,1	18	25	8,5	4,8	5,5	6,1
Sr	407	390	395	260	270	70	241	120	130
Pb	7	8	7	65	20	10	33	18	20
Zn	10	11	11	112	50	12	48	23	22
Cu	12	15	14	225	45	14	27	22	25
Ta	12	13	14	18	10	3,5	14,5	15,1	16,2
Nb	14,8	15,7	16,8	23	13	57,6	35,7	62,3	64,1
Ge	0,7	0,7	0,7	0,6	0,3	0,7	0,9	0,9	1,0
U	2,4	3,5	3,4	10,4	9,4	14,5	17,5	18,5	19,1
Th	6,6	7,2	8,3	23,2	21,5	27,0	29,4	32,6	34,8
Th/U	2,75	2,06	2,44	2,23	2,29	1,86	1,68	1,76	1,82

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории Центральной геолого-съёмочной экспедиции (Ессентуки). Дайки: 1–3 – кварцевые диориты; 4 – граниты биотитовые Сардаринского штока; 5, 6 – аляскитовые граниты Мурунского интрузива; дайки: 7 – кварцевые сиениты; 8, 9 – керсантиты.

Следует отметить, что все породные типы, попавшие в выборку, не изменены метасоматически, о чём свидетельствуют значения отношений Th/U, повсеместно превышающие 1.

На диаграмме K_2O-SiO_2 породные типы рудного поля попадают в разные поля (рисунок).

Биотитовые граниты Сардаринского гранита локализируются в поле высоко калиевой известково-щелочной серии в области высококалийевого дацита. Дайки кварцевых диоритовых порфириров тяготеют к границе высококалийевой известково-щелоч-

ной и шошонитовой серии, располагаясь вблизи этой границы, локализуясь в полях высококалийевого андезибазальта и шошонита. Аляскитовые граниты (лейкограниты) Мурунской интрузии попадают в поле шошонитовой серии в область крайне дифференцированных разностей лейкогранитов. В это же поле попадают дайки керсантитов и тяготеют к области банакитов. А кварцевые сиенитовые порфиры также локализируются в поле шошонитовой серии, но в область крайне высоких концентраций калия и повышенных значений кремнекислоты (см. рисунок).

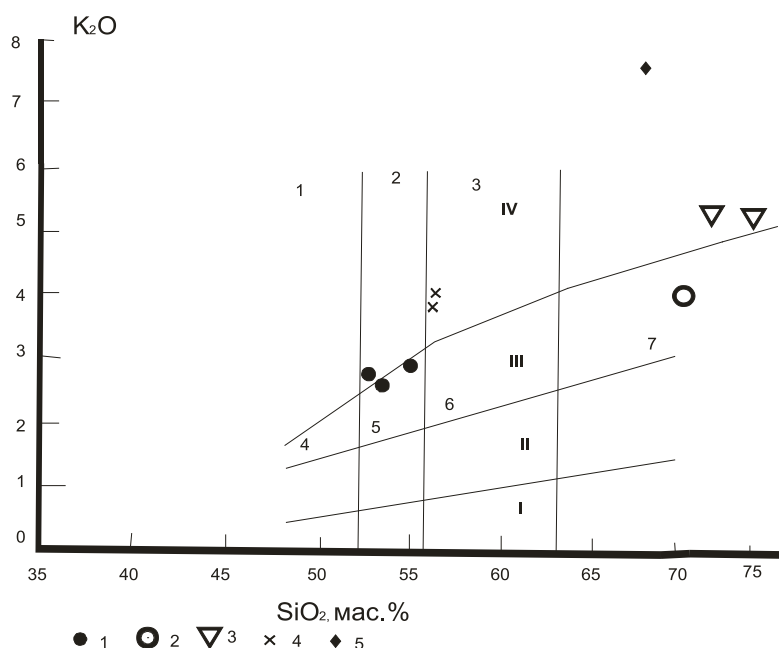


Диаграмма K_2O-SiO_2 для породных типов рудного поля Мурунтау.

Поля пород: 1 – абсарокит; 2 – шошонит; 3 – банакит; 4 – высококалийевый базальт; 5 – высококалийевый андезибазальт; 6 – высококалийевый андезит; 7 – высококалийевый дацит по [10].

Серии пород: I – толеитовая; II – известково-щелочная; III – высококалийевый известково-щелочная; IV – шошонитовая. Породные типы рудного поля Мурунтау: 1 – дайки кварцевых диоритовых порфириров; 2 – биотитовые граниты Сардаринского штока; 3 – аляскитовые граниты Мурунской интрузии; 4 – дайки керсантитов; 5 – кварцевый сиенит-порфир (дайка)

Таким образом, все породные интрузивные типы магмо-рудно-метасоматической системы (МРМС) Мурунтау, кроме биотитовых гранитов Сардаринского штока, попадают в поле шошонитовой серии, показывая различные уровни дифференциации степени продвинутой эволюции расплавов по кремнекислотности и содержанию калия.

В последнее десятилетие оживлённая дискуссия ведётся относительно возраста рудогенерирующего магматизма и связи с ним золотого оруденения месторождения Мурунтау. Сводка абсолютных значений возраста магматитов, околорудных метасоматитов и рудных образований представлена в табл. 2.

Как видно из приведенных данных, разброс возрастов магматизма и связанного с ними оруденения и околорудных и пострудных наложенных метасоматитов весьма широк. В этой связи важно точно определить возраст оруденения и привязать к нему возраст рудогенерирующего интрузивного импульса. Костицин Ю.А. на основе абсолютных определений возрастов анализируемых образований пришёл к выводу, что для генерации золотого оруденения на месторождении важнейшее значение имел дайковый магматизм второго этапа, в период которого формировались дайки кварцевых сиенит-порфириров и лампрофириров и близких к ним по возра-

сту 4 метасоматитов [4], имеющих возраст $273,1 \pm 1,6$ млн лет. Р. Морелли с соавторами определили возраст рудного арсенопирита с помощью рений-осмиевой изотопной системы, которой определены более объективные цифры от 287 до 295 млн лет (среднее значение 290 млн лет). И, таким образом, ближе к возрасту рудного арсенопирита находятся гранитные образования Мурунского и Сардаринского гранитных

интрузий [9]. Пострудные наложенные прожилки и жилы кварц-турмалинового (257 млн лет), кварц-арсенопиритового (230,2 млн лет) и кварц-адулярового (219,4 млн лет) составов дают растянутую картину завершения гидротермальной жизни месторождения продолжительностью 36 млн лет. Общий интервал времени – от рудного этапа к заключительному пострудному – составляет 76 млн лет.

Таблица 2

Определения абсолютных возрастов интрузивных, метасоматических и рудных образований золоторудного поля Мурунтау

Интрузивные и рудные образования	Изотопные системы	Возраст, млн лет	Источник
Керсантит (дайка)	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ (0,70818 \pm 14)	273,0 \pm 3,0	Костицин, 1996 [5]
Кварцевый сиенит-порфир (дайка)	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ (0,7071 \pm 39)	274,2 \pm 5,7	Костицин, 1996 [5]
Кварцевый диорит-порфирит (дайка)	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ 0,70754 \pm 4)	284,4 \pm 1,4	Костицин, 1996 [5]
Диоритовый порфирит (дайка)	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ 0,70706 \pm 64)	285,9 \pm 6,9	Костицин, 1996 [5]
Биотитовый гранит (Сардаринский шток)	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ 0,70789 \pm 13)	286,2 \pm 1,8	Костицин, 1996 [5]
Аляскитовый гранит (Мурунская интрузия)	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ 0,716 \pm 15)	287,1 \pm 4,6	Костицин, 1996 [5]
Околорудный Би-ПШ-Кв-метасоматит	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ 0,71612 \pm 6)	273,2 \pm 2,8 273,1 \pm 1,6	Костицин, 1996 [5]
Арсенопирит рудного прожилка	$^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$: $^{187}\text{Re}/^{186}\text{Os}$	287,0 \pm 2,5 295,4 \pm 6,1	Morelli et al., 2007 [9]
Шеелит I Шеелит II (в рудах)	Sm-Nd	351 \pm 22 279 \pm 18	Kempe et al., 2001 [8]
Кв-Тур наложенная на руду жила	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ (0,71527 \pm 39)	257 \pm 13	Костицин, 1996 [5]
Кв-Арс жила	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ (0,72065 \pm 9)	230,2 \pm 3,5	Костицин, 1996 [5]
Кв-Ад жила	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \pm 2\sigma$ (0,751 \pm 8)	219,4 \pm 4,2	Костицин, 1996 [5]

Примечание. Сокращения: Ад – адуляр, Арс – арсенопирит, Би – биотит, Кв – кварц, ПШ – полевошпатовый шпат.

Расшифровка флюидного режима интрузивных образований золоторудного поля Мурунтау (табл. 3) показывает, что гранитоиды Сардаринского массива и дайки гранодиорит-порфиров характеризуются очень высокими давлениями (9–6 МПа) (по соотношениям Al^{VI} к Al^{IV} в биотитах) и температурами (890–900 °С) при кристаллизации, что отве-

чает условиям абиссальной фации. Во флюидном режиме гранитоидов отмечены высокие значения фугитивностей и парциальных давлений HCl , H_2O и CO_2 (см. табл. 3).

Характерны более высокие параметры парциальных давлений воды и углекислоты во флюидах аляскитовых гранитов Мурунской интрузии по сравнению с гранитами

Сардаринского штока. Флюиды характеризовались высокой восстановленностью ($K_{вос}$). Магмагенные флюиды имели низкие летучести кислорода и повышенные значения восстановленности флюидов в дайковых образованиях, а также заметно были обогащены водой, углекислотой и хлором (см. табл. 3). Характерны более высокие значения восстановленности флюидов и концентрации фтора (M_{HF}) в постгранитных дайках, особенно в керсантитах, указывающие на подток более глубинных трансмагматических флюидов при их формировании. Возможно, что этот источник

был глубже астеносферного, так как формирование комплексной рудной системы Мурунтау происходило в постколлизийной обстановке, инициированной плюм-тектоникой [3]. Вероятно, формирование МРМС Мурунтау происходило в результате высокотемпературных сверхглубинных флюидов, характеризующихся повышенной магнезиальностью (широкий и мощный ореол флогопитовых метасоматитов) и обогащённостью S, Ni, Co, Au, Ag, Mo, Pt, Pd, Bi и другими халькофильными элементами, имеющими первичную плюмовую природу, как это считает Ф.А. Летников [6].

Таблица 3

Некоторые параметры флюидного режима дифференциатов МРМС Мурунтау

Параметры флюидного режима	Граниты Сардаринского массива	Аляскитовые граниты Мурунской интрузии	Дайки		
			сиенит-порфиоров	гранодиорит-порфиоров	керсанти-тов
T, °C	900	870	890	900	910
f O ₂	-12,4	-13,1	-13,6	-14,3	-14,8
f H ₂ O	3225	2350	3116	3872	3125
p H ₂ O	2820	2950	2610	3550	2810
p CO ₂	2950	3100	2390	3728	4245
lgfHF/lgfHCl	-2,25	-2,1	-2,14	-1,55	-1,2
K _{вос}	0,71	0,72	0,77	0,85	0,88
y	186,3	187,2	188,4	190,8	191,2
M _{HF}	0,023	0,105	0,084	0,112	0,136

Примечания: T, °C – температура кристаллизации пород; f O₂, f H₂O – фугитивности кислорода и воды соответственно, в 10² кПа; p H₂O, p CO₂ – парциальные давления воды и углекислоты соответственно, в 10² кПа; K_{вос} – коэффициент восстановленности флюидов по Ф.А. Летникову; y – потенциал ионизации биотитов по В.А. Жарикову; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюидах, моль/дм³ по [1].

Заключение

В итоге следует отметить, что нет большого смысла в определении точного интрузивного импульса, с которым может быть связано золотое оруденение месторождения Мурунтау. Петрологические данные, приведенные выше, указывают, что преобладающая часть интрузивных образований тяготеет и относится к шошониновой серии различной эволюционной продвинутости породных типов, формирование которой связано с процессами мантийно-корового взаимодействия в результате функционирования активного плюма, дифференциации в глубинном очаге с участием фракционной кристаллизации полевых шпатов, контаминации корового материала [2, 5]. Супергигантское золоторудное месторождение Мурунтау форми-

ровалось по сложному сценарию несколько десятков миллионов лет, соизмеримых с функционированием плюма. Правильнее говорить о связи золотого оруденения не с конкретным интрузивным импульсом, а с эволюцией глубинного магматического очага, в который поступали неоднократно инъекции и подпитка высоко восстановленных плюмовых и астеносферных источников. Из этого долгоживущего глубинного очага время от времени происходило отщепление магматических дериватов, восстановленных флюидных систем, формировавших громадные объёмы магнезиальных метасоматитов и мультистадийных гидротермальных растворов, о чём свидетельствует большой временной разброс цифр магматизма, метасоматитов и рудных образований.

Список литературы

1. Аксюк А.М. // Петрология, 2002. – Т. 10, № 6. – С. 630–644.
2. Гусев А.И. // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. – Петрозаводск, 2008. – С. 159–161.
3. Гусев А.И. Постколлизийные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – Gamburgh, LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 187 p.
4. Костицин Ю.А. // Геохимия. – 1993. – № 9. – С. 1308–1318.
5. Костицин Ю.А. // Геохимия. – 1996. – № 12. – С. 1123–1138.
6. Летников Ф.А. //Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 12. – С. 1296–1307.
7. Ishihara S. // Min. Geol. Tokyo. – 1977. – Vol. 27. – P. 293–305.
8. Kempe U., Belyatsky B.V., Krymsky R.S., Kremenetsky A.A., Ivanov P.A. // Miner. Depos. – 2001. – Vol. 36. – P. 379–392.
9. Morelli R., Creaser R.A., Seltmann R., Stuart F.M., Selby D., Graupner T. // Geology. – 2007. – Vol. 35, № 9. – P. 795–798.
10. Peccerillo A., Taylor S.R. // Contrib. Mineral. Petro. – 1976. – Vol. 58. – P. 63–81.

References

1. Aksuk A.M. *Petrologiya*, 2002, Vol.10, no 8, pp. 630–644.
2. Gusev A.I. *Svyaz povernostnykh struktur zemnoy kory s glubinnymi*. Petrozavodsk, 2008, pp. 159–161.

3. Gusev A.I. *Postkollizionnye granitoidy: petrologiya, geokhimiya, fluidnyy rezhim i orudnenie*. Gamburgh, LAP Lambert Academic Publishing, 2012, 187 p.

4. Kostitsyn YU. A. *Geokhimiya*, 1993, no 9, pp. 1308–1318.
5. Kostitsyn YU. A. *Geokhimiya*, 1996, no 12, pp. 1123–1138.
6. Letnikov F.A. *Geologiya I Geofizika*, 2006, Vol. 47, no 12, pp. 1296–1307.
7. Ishihara S. *Min. Geol. Tokyo*, 1977, Vol. 27, pp. 293–305.
8. Kempe U., Belyatsky B.V., Krymsky R.S., Kremenetsky A.A., Ivanov P.A. *Miner. Depos.*, 2001, Vol. 36, pp. 379–392.
9. Morelli R., Creaser R.A., Seltmann R., Stuart F.M., Selby D., Graupner T. *Geology*, 2007, Vol. 35, No 9, pp. 795–798.
10. Peccerillo A., Taylor S.R. *Contrib. Mineral. Petro.*, 1976, Vol.58, pp. 63–81.

Рецензенты:

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

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

Работа поступила в редакцию 11.04.2012.