

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ АНОРОГЕННЫХ ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОИДОВ КАЗАНДИНСКОГО МАССИВА ГОРНОГО АЛТАЯ**Гусев А.И.***Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,
Бииск, e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены геологические, геохимические и петрологические данные по щелочным гранитоидам Казандинского массива среднего девона Горного Алтая. В его составе выделяются граниты, лейкограниты, лейкограниты рибекитовые, лейкограниты умеренно-щелочные. По нормированным к хондритам соотношениям $(La/Yb)_N - (Yb)_N$ источники плавления этих пород близки к трендам плавления кварцевых эглогитов, гранатовых амфиболитов и амфиболитов. Гранитоиды массива отнесены к А-типу анорогенных гранитов. Пространственно и парагенетически с ними связаны вольфрамовое и бериллиевое оруденение кварцево-грейзенового типа. Для бериллиевого Казандинского месторождения характерно более высокое содержание воды во флюидах и меньшее – углекислоты. Соответственно, у него меньше отношение $CO_2/H_2O \times 100$, что свидетельствует о более открытой системе при становлении бериллиевого оруденения или его более глубоком эрозионном срезе, чем вольфрамового месторождения.

Ключевые слова: граниты, лейкограниты, анорогенные граниты, рибекитовые граниты, руды, грейзены, вольфрам, бериллий, флюиды

PETROLOGY AND ORE MINERALIZATION OF ANOROGENIC ALKALIC GRANITOIDS OF KAZANDINSKII MASSIVE OF MOUNTAIN ALTAI**Gusev A.I.***The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Geologic, geochemical and petrological data lead on alkali granitoids of Kazandinskii massive of Middle Devonian of Mountain Altai. Granites, leucogranites, leucogranite riebeckite, subalkalic leucogranites detached in its composition. Source of melting of their rocks is near to trend of melting eclogites, garnet amphibolites and amphibolites on ratio of $(La/Yb)_N - (Yb)_N$, normalized on chondrites. Granitoids of massive refer to anorogenic granite (A-type). Tungsten and beryllium ore mineralization of quartz-greisen type linked with granitoids massive of space and paragenetic. More high content of water in fluids and more less of carbonic acid characterized for beryllium Kazandinskoye deposit. More less ratio of $CO_2/H_2O \times 100$ in fluids is in beryllium deposit then tungsten deposit that it is testify about open system for generating of beryllium mineralization then tungsten, respectively.

Keywords: granites, leucogranites, anorogenic granites, riebeckite leucogranites, ores, greisen, tungsten, beryllium, fluids

Актуальность проведенных исследований не вызывает сомнений, так как бериллий, используемый в атомной энергетике, наряду с другими редкими металлами включён Правительством РФ в число стратегических металлов. В Горном Алтае Казандинское месторождение бериллия является самым крупным по запасам, а вблизи него локализуется несколько не изученных перспективных проявлений бериллия.

Казандинский массив, локализованный на востоке Талицко-Башчелакского района, сложен преимущественно биотитовыми и амфибол-биотитовыми мелко-среднезернистыми лейкогранитами с фациальными переходами к гранитам. Минеральный состав лейкогранитов, умеренно-щелочных лейкогранитов и рибекитовых лейкогранитов включает кварц (32,5; 34,5 и 40,6%), пертитовый калишпат $\Delta = 0,78$ (28,1; 48 и 46,2%), плагиоклаз (34,8% (№ 24–5); 13,6% (№ 0–5) и 10% (№ 0–5)), железистый ($f = 87$) биотит (3,5; 1,1% и ед. з.), амфибол (ед. з.; 0,6 и 2,6%), вторичные – серицит, хлорит, акцессорные (в г/т, данные С. А. Кузнецова) – магнетит (1447; 2172 и 572), ильменит (2; 3 и 23), циркон (10; 3 и 54), ор-

тит (47; 25 и ед. з.), малакон (1,2; 1,3 и 96), флюорит (2; 8 и 28). Структура пойкилитовая, гипидиоморфнозернистая, микрографическая. Химический состав пород Казандинского массива представлен в табл. 1 и 2. Породы характеризуются повышенной и высокой щелочностью (несколько меньше в лейкогранитах Казандинского массива), преобладанием K_2O (3,8; 4,3 и 4,6%) над Na_2O (3,7; 3,8 и 4,2%), низкой глиноземистостью (индекс Шенда = 1), высокой железистостью ($F = 84$; 87,8 и 89,7) и агпитностью ($K_{AG} = 0,76$; 0,85; 0,95). От гранитов к умеренно-щелочным лейкогранитам происходит закономерное увеличение отношения Eu/Eu^* от 0,71 до 0,82 и снижение отношения La/Yb_N от 4,17 до 2,8 (табл. 2). Последнее отношение указывает на снижение степени дифференцированности в указанном направлении и увеличение доли тяжёлых редких земель. Следует отметить, что отношения лёгких РЗЭ к средним значительно выше отношений лёгких к тяжёлым РЗЭ. При этом максимальных значений это отношение достигает в умеренно-щелочных лейкогранитах (7,44). От гранитов к умеренно-щелочным лейкогранитам на-

блюдается снижение таких элементов как Sr, Be, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb, Hf, Mo, Sn, Nb и увеличение Ga, Dy, Ho, Er (см. табл. 2). Сумма РЗЭ снижается также в направлении от гранитов к лейкогранитам и умеренно-щелочным лейкогранитам от 215,22 до 175,06. Следует указать, что для всех пород, кроме умеренно-щелочных лейкогранитов, характерны повышенные концентрации бария, что сближает их с шощонитовыми гранитами. Отношения U/Th и Nb/Ta в процессе образования последовательных фаз от гранитов к умеренно-щелочным лейкогранитам не показывают чёткой закономерности (см. табл. 2). Рибекитовые лейкограниты розовато- и желтовато-серой окраски. В их составе преобладает призматический полевой шпат (55-60%), в значительном количестве (до 30-32%) отмечается кварц. Характерным темноцветным минералом является амфибол, равномерно распределённый в породе с редкими гломеропорфировыми скоплениями размерами до 0,5 см. Его содержания варьируют от 5 до 7% при среднем значении 6%. Спорадически отмечаются астрофиллит, эгирин. Характерна гипидиоморфнозернистая структура, местами переходящая в аллотриоморфнозернистую. Амфибол представлен средними (до 5-6 мм) удлиненно-призматическими кристаллами почти чёрного цвета с буровато-синим оттенком. Химический состав амфибола: SiO_2 – 48,25, TiO_2 – 1,34, Al_2O_3 – 1,55, Fe_2O_3 – 14,21, FeO – 22,12,

MgO – 0,07, MnO – 0,87, CaO – 2,56, Na_2O – 3,87, K_2O – 2,1, H_2O – 1,08, F – 0,45 при пересчёте на структурную формулу диагностируется рибекитом. Геохимические особенности рибекитовых лейкогранитов близки к таковым лейкогранитов (табл. 3). Геохимической особенностью гранитоидов являются низкие содержания стронция (160; 119 и 48 г/т), повышенные концентрации редких земель ($\Sigma\text{РЗЭ} = 114$ г/т в щелочных лейкогранитах), минимальные (относительно лейкогранитов других комплексов) – лития (14,7; 15 и 5,6 г/т) и цезия (4,6; 3,8 и 2,2 г/т). С лейкогранитами четвертой фазы связаны жильные образования гранит-порфиров и щелочных гранит-порфиров, приуроченных к трещинам субмеридионального простирания. Наши данные по микроэлементному составу пород Казандинского массива несомненно отличаются от приводимых В.А. Кривчиковым (2001) [50]. Причина в том, что составы гранитов, лейкогранитов и умеренно-щелочных лейкогранитов, приводимых последним автором включают разнородные породы всей топольнинской ассоциации. Наши данные относятся к породам Казандинского массива, относимого к елиновскому комплексу, который в петротипическом массиве содержит также рибекитовые граниты и лейкограниты [1].

Химические составы пород Казандинского массива сведены в табл. 1, а микроэлементный и состав РЗЭ по единичным пробам – в табл. 2.

Таблица 1
Химические и средние составы интрузивных пород Казандинского массива (масс. %)

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72,25	0,28	13,93	0,71	2,2	0,06	0,41	1,63	3,4	3,7
2	72,33	0,28	13,76	0,78	2,06	0,06	0,41	1,75	3,72	3,34
3	72,31	0,31	14,07	0,89	2,29	0,07	0,42	0,9	3,7	3,8
4	72,12	0,21	14,74	0,84	2,29	0,07	0,27	1,28	3,7	3,2
5	71,21	0,38	14,08	1,42	1,53	0,05	0,47	1,98	4,04	3,24
6	72,83	0,25	14,12	1,11	1,43	0,05	0,42	1,4	3,5	3,58
7	72,96	0,21	13,28	0,83	2,81	0,07	0,43	1,53	3,64	3,62
ср	72,29	0,27	13,99	0,94	2,08	0,06	0,40	1,49	3,67	3,49
8	73,35	0,25	13,27	0,73	2,37	0,07	0,52	2,13	3,82	3,21
9	73,4	0,24	13,24	1,01	1,67	0,08	0,4	1,56	3,72	4,1
10	73,66	0,18	14,19	0,75	1,91	0,06	0,2	0,56	3,4	3,7
11	74,4	0,17	12,47	0,2	1,9	0,06	0,18	0,98	3,49	4,2
12	74,86	0,17	13,14	0,63	1,91	0,06	0,28	1,24	3,7	3,2
13	76,25	0,13	13,03	0,72	1,59	0,07	0,15	1,19	3,42	2,9
14	75,75	0,06	13,01	0,39	1,05	0,05	0,09	0,63	3,7	4,2
15	75,5	0,15	12,52	0,62	2,11	0,06	0,21	1,28	3,84	3,65
16	75,13	0,16	13,27	0,62	1,82	0,06	0,32	1,06	3,72	3,2

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17	74,94	0,21	12,66	0,51	2,41	0,06	0,43	1,56	3,6	3,53
18	74,8	0,24	12,32	1,04	1,87	0,07	0,48	1,76	3,92	2,2
ср	74,73	0,18	13,01	0,66	1,87	0,06	0,29	1,27	3,67	3,46
19	74,9	0,08	12,47	0,7	2,2	0,05	0,17	0,69	3,54	4,7
20	75,43	0,08	12,67	0,58	1,36	0,06	0,13	0,76	3,9	4,5
ср	75,17	0,08	12,57	0,64	1,78	0,06	0,15	0,73	3,72	4,6
21	74,02	0,21	12,12	1,83	1,74	0,10	0,28	0,50	3,91	4,29

Примечание. Силикатные анализы выполнены в Западно-Сибирском аналитическом центре (г. Новокузнецк). Породы Казандинского массива: 1–7 – граниты; 8–18 – лейкограниты; 19–20 – лейкограниты умеренно-щелочные; 21 – рибекитовый лейкогранит умеренно-щелочной; ср – средние содержания по породным типам.

Таблица 2
Концентрации химических элементов в породах Казандинского массив (г/т)

Компоненты	Гранит	Лейкогранит	Лейкогранит умеренно-щелочной	Лейкогранит рибекитовый
1	2	3	4	5
Li	55,3	37,6	8,7	21,7
Be	2,1	1,95	0,7	1,74
Sc	8,1	7,7	3,6	5,3
Ti	730	728	667	742
V	12,2	11,6	1,9	8,5
Cr	21,4	19,0	8,8	11,4
Co	3,3	2,9	1,9	1,8
Ni	19,7	17,1	18,0	11,6
Cu	13,9	13,2	12,6	14,8
Zn	46,8	38,1	35,6	34,5
Ga	17,4	18,3	20,7	19,6
Rb	111,8	110,5	123,7	98,7
Sr	203,4	191,6	55,2	126,8
Y	46,7	45,2	58,0	65,6
Zr	48,4	45,5	42,7	46,9
Cs	4,7	4,4	3,2	4,3
Ba	734	721,7	141,2	725,4
La	51,8	45,7	34,0	41,4
Ce	56,8	51,3	41,1	55,3
Pr	7,3	5,3	5,1	5,5
Nd	29,6	19,6	17,3	16,7
Sm	5,4	4,8	2,8	4,4
Eu	1,12	1,05	0,69	0,97
Gd	4,0	3,4	2,2	2,8
Tb	0,66	0,41	0,27	0,43
Dy	1,22	1,38	1,58	1,27
Ho	0,5	0,7	0,9	0,6
Er	1,4	1,6	2,7	1,9
Tm	0,3	0,29	0,21	0,52
Yb	8,2	8,1	8,0	7,5
Lu	0,22	0,23	0,21	0,42
Hf	6,1	4,5	4,4	4,3
Ta	3,5	3,8	2,2	2,3
Pb	21,3	20,5	22,8	20,7

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Th	12,2	8,7	11,3	11,2
U	2,1	1,9	2,0	2,1
Mo	2,2	1,8	1,1	0,9
Sn	5,6	5,45	4,7	4,5
Nb	12,9	10,0	7,0	8,3
Σ REE	215,22	189,06	175,06	205,31
U/Th	0,17	0,22	0,18	0,19
Nb/Ta	3,68	3,03	3,18	3,61
Eu/Eu*	0,71	0,76	0,82	0,79
La/YbN	4,17	3,73	2,8	3,65
La/SmN	5,89	5,84	7,44	5,76

Примечание. Анализы выполнены методом ICP-MS в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). Значения РЗЭ нормированы по хондриту по Anders E., Greevesse N. [2].

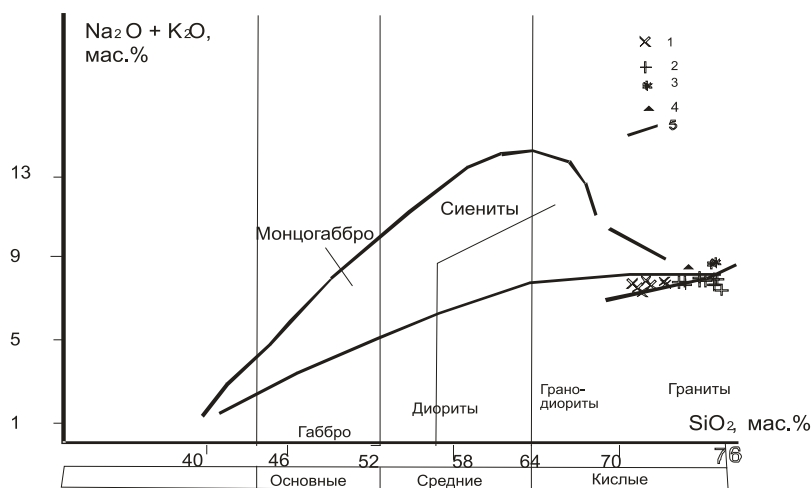


Рис. 1. Петрохимическая диаграмма диагностики горных пород в координатах $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ для пород Казандинского массива: 1 – граниты; 2 – лейкограниты; 3 – умеренно-щелочные лейкограниты; 4 – рибекитовый лейкогранит умеренно-щелочной; 5 – тренд для породных типов Казандинского массива

На диаграмме ТАС гранитоиды Казандинского массива располагаются в поле известково-щелочной серии вблизи границы раздела известково-щелочной и умеренно-щелочной серий. Умеренно-щелочные лейкограниты и рибекитовые лейкограниты попадают целиком в поле умеренно-щелочной серии (рис. 1).

На диаграмме распределения РЗЭ во всех породах отсутствует минимум по европию, но наблюдается четкий минимум по диспрозию и максимум по иттербию (рис. 2). На диаграмме $(La/Yb)_N - (Yb)_N$ все породные типы располагаются кучно за пределами поля верхней коры на продолжении трендов плавления кварцевых эклогитов, гранатовых амфиболитов и амфиболитов (ВК) (рис. 3)

В Щebetинском рудном узле известны месторождение, ряд проявлений и пунктов

минерализации молибден-вольфрам-бериллиевой кварцево-грейзеновой формации (Огнёвая Яма, Строчи́хинское, Казандинское 2 и другие) расположенных среди двуслюдяных и мусковитовых гранитов елиновского комплекса и вблизи его контактов: Казандинское вольфрамовое и Казандинское бериллиевые месторождения. К северо-востоку от месторождений прогнозируется нетрадиционное бериллиевое оруденение в местасоматитах на контакте известняков и алюмосиликатных пород, где выявлены аномалии бериллия, висмута, вольфрама.

Казандинское вольфрамовое месторождение открыто в 1944 г. Разведывалось с поверхности канавами и шурфами в 1945–1947 гг. Дальнейшая разведка (1948–1952 гг.) проводилась совместно с эксплуатацией, добыто – 9,5 т WO_3 . Расположено

в эндоконтакте Казандинского гранитного массива. Оруденение выявлено в 9 кварцевых жилах, имеющих северо-западную ориентировку и крутое падение. Основной интерес представляет Главная жила, прослеженная на 144 м при мощности от 0,05 до 2,5 м. Кварц крупнозернистый светло-серый с вкрапленностью флюорита. Из рудных минералов присутствуют вольфрамит, шеелит, висмутин, халькопирит, молибденит, пирит, сфалерит. Вольфрамит представлен гюбнеритом, который встречается в виде вкрапленности (0,5–1 см) и сростков кристаллов размерами до 10 см. Со-

став гюбнерита (масс. %): WO_3 – 74,4–74,9, MnO – 18,0–20,6, CaO – 3,3–3,6, SiO_2 – 1,2–1,5. Высокое содержание извести обусловлено микровключениями шеелита. Последний нередко образует зёрна среди сульфидов размерами от 0,5 до 1,8 мм. Местами совместно с гюбнеритом отмечается вкрапленность флюорита размерами от 1 до 5 мм. Околорудные изменения проявлены в виде грейзенизации гранитов, окварцевания и пиритизации. Мощность метасоматитов достигает 15 м. Местами среди грейзенов встречается мелкочешуйчатый молибденит.

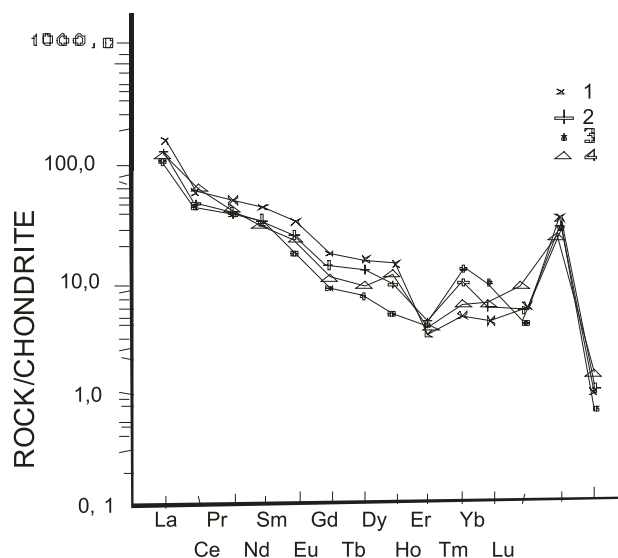


Рис. 2. Диаграмма содержаний РЗЭ в породах Казандинского массива: 1 – граниты; 2 – лейкограниты; 3 – умеренно-щелочные лейкограниты; 4 – рибекитовые лейкограниты

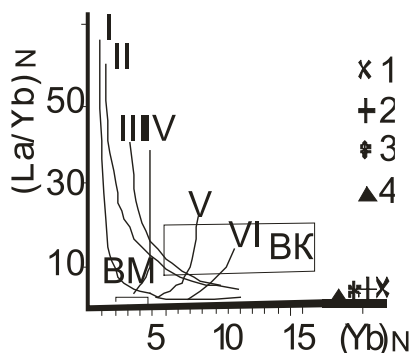


Рис. 3. Диаграмма $(La/Yb)_N - (Yb)_N$ по [3] для пород Казандинского массива. Тренды плавления различных источников: I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; IV – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 10%; V – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 5%; VI – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 3%; BM – верхняя мантия; BK – верхняя кора. Остальные условные см. на рис. 2

Кроме гюбнерита, жила в значительной степени обогащена сульфидами (до 5–10%), в том числе, молибденитом. Сульфид молибдена встречается в виде чешуек в сером «льдином» кварце. Значительно чаще он присутствует в грейзеновых оторочках кварцевых жил. Пирит иногда даёт кучные скопления размерами до 3–5 см. Среднее содержание WO_3 в Главной жиле 0,62% (с вариациями от следов до 4,15%). В пробах кварца, обогащенного сульфидами, установлены максимальные содержания (%): Zn – 3; Pb – 0,7; Bi – 0,1; Ag – 334,2 г/т; Au – 1,8 г/т. Содержание золота в пиритовом концентрате составляет – 0,2 г/т, серебра – 74,7 г/т. Запасы WO_3 категории C_1 по Главной жиле до глубины 35 м составляют – 71,5 т.

Казандинское бериллиевое месторождение разведывалось в 1951–1960 гг. на глубину до 300 м. Оруденение размещается в кварцевых жилах, сопро-

вождаемых грейзенами, образующих полосу шириной более 500 м. Жилы (65 штук), вошедшие в подсчет запасов, имеют мощность до 1,2 м (средняя – 0,39 м) и общую протяженность – 8115 м. Главным рудным минералом является берилл, представленный как мелкими, так и крупными кристаллами (10×2 см) и гнездами; в подчиненных количествах отмечаются пирит, молибденит, висмутин, вольфрамит, а из нерудных – турмалин, морион, дымчатый кварц. Среднее содер-

жание BeO в жилах составляет – 0,194%. Отмечаются повышенные содержания (в %): Mo – до 0,3; Pb – до 0,1; Cu, Bi – до 0,05, а так же золота – до 0,2 г/т и серебра – до 9 г/т. В кварце, обогащенном пиритом, установлено 134 г/т серебра, 0,5 г/т золота.

По данным термобарогеохимического анализа содержание основных компонентов флюида ГЖВ кварца для бериллиевого Казандинского месторождения близки таковым Казандинского вольфрамового (табл. 3). Но имеются и отличия.

Таблица 3
Состав газовой-жидких включений в кварце рудных жил Казандинского бериллиевого месторождения (мг/кг)

Компоненты	1	2	3	4	5
CO ₂	184	147	179	129	159
H ₂ O	1471	1614	1797	1705	1650
C ₂ H ₂	0,8	0,5	1,4	0,3	0,8
C ₂ H ₆	0,3	0,2	0,6	0,3	0,5
N ₂	8,5	7,3	7,2	7,1	7,7
CH ₄	0,6	0,4	1,3	0,3	0,8
H ₂ O + CO ₂	1655	1761	1976	1834	1806
CO	3,1	2,4	4,3	2,7	3,1
CO ₂ ×100H ₂ O	12,5	9,1	10,0	7,6	9,8
K _в ×1000	2,8	2,0	3,8	1,8	2,6
Σгазов	198	158	194	139	173
Σ + H ₂ O	1668	1772	1991	1844	1819

Примечание. 1–5 – номера проб; K_в×1000 – коэффициент восстановленности флюидов; с – следы.

Для бериллиевого Казандинского месторождения характерно более высокое содержание воды во флюидах и меньшее – углекислоты. Соответственно, у него меньше отношение CO₂/H₂O×100, что свидетельствует о более открытой системе при становлении бериллиевого оруденения или его более глубоком эрозийном срезе, чем вольфрамового месторождения. Запасы BeO категории В + С₁ + С₂ для Казандинского бериллиевого месторождения составляют 1 218,8 т.

Таким образом, Казандинский массив анорогенных щелочных гранитоидов

представляет перспективы на бериллиевое оруденение. Многие проявления в рудном узле не доизучены. Вблизи месторождений прогнозируется нетрадиционный тип бериллиевого оруденения в метасоматитах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И., Гусев Н.И., Красова А.С. // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 4. – С. 222–226.
2. Anders E., Greevesse N. // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.
3. Barbarin B. // Lithos. – 1999. – Vol. 46. – P. 605–626.