

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ И МАЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МАФИТАХ И УЛЬТРАМАФИТАХ ЕЛАНЬ-КОЛЕНОВСКОГО ПЛУТОНА

А. И. Овсянников

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1 марта 2013 г.

Аннотация. Анализ содержания малых элементов в породах расслоенного Елань-Коленовского плутона, полученный методом ICP-MS, показал, что исходный расплав массива был обогащён крупноионными литофильными элементами (LILE), U и лёгкими редкоземельными элементами (LREE). Это произошло либо за счёт включения в расплав материала (субдукционного (?)) океанической коры или осадка, либо за счёт воздействия на него флюида, образовавшегося за счёт метасоматической проработки этого материала. Породы Елань-Коленовского плутона разбраковываются по минералогическим, петрографическим и геохимическим данным на две группы: «ранняя» и «поздняя» ассоциации. «Ранняя» ассоциация характеризуется крутым трендом распределения РЗЭ и наличием отрицательной европиевой аномалии. «Поздняя» ассоциация пород обладает пологим трендом распределения РЗЭ, характеризуется отсутствием европиевых аномалий и содержанием РЗЭ, очень близким к среднему для базальтов океанических островов (ОИВ). Также при анализе данных была установлена высокая вероятность того, что исходный расплав Елань-Коленовского плутона сформировался в зоне активной окраины плит.

Ключевые слова: дифференцированные плутоны, РЗЭ, мамонский комплекс, Елань-Коленовский плутон, ВКМ.

Abstract. An analysis of rare elements contents in the Elan-Koleno pluton, obtained by an ICP-MS method, demonstrated, that original massif melt was enriched by large-ion lithophile elements (LILE), U and light rare-earth elements (LREE). This happened either due to an oceanic crust (subduction (?)) material or sediments had included into the melt, or due to an interaction of fluid on it, formed by a cause of metasomathic influence of this material. Rocks of the Elan-Koleno pluton are discriminated by mineralogical, petrographical and geochemical data onto two groups: "early" and "late" associations. "Early" association is characterized by a steep REE distribution trend and a presence of negative europium anomaly. "Late" rock association has a gently sloping REE distribution trend, are characterized by an absence of europium anomalies and its content of REE is very close to average for the Oceanic Isles Basalts (OIB). Also during an analysis of dataset was determined a high probability, that original Elan-Koleno pluton melt formed into a zone of active plate margin.

Key words: differentiated plutons, REE, Mamon complex, Elan-Kolenovskiy pluton, VCM

Введение

Анализ распределения редкоземельных, редких и рассеянных элементов в магматических породах позволяет сделать выводы о составе и условии формирования их исходного расплава. Также существуют дискриминационные диаграммы, позволяющие определить геотектонические условия образования расплава и, соответственно, становления магматических тел. Ниже приводится анализ результатов методики ICP-MS, который дополняет и расширяет полученные ранее данные по содержанию малых элементов в породах Елань-Коленовского массива [1, 2, 3]. Применение современных способов [4] анализа содержания малых

элементов в магматических породах даёт возможность приближённо устанавливать природу магматических тел с позиции плитной тектоники. Условия формирования и состав исходного расплава, тектоническая природа магматического массива позволяют делать выводы о потенциале его рудоносности. Детальный геохимический анализ породных ассоциаций не только разбраковывает их, но даёт информацию об их природе и рудной специализации.

Краткое описание геологического строения Елань-Вязовского плутона

На территории Хоперского мегаблока Воронежского кристаллического массива самым крупным (11 x 12 км, площадью около 120 км²) является сложнодифференцированный ультрамафит-мафитовый Елань-Коленовский плутон (рис. 1). Он за-

легают среди нижнепротерозойских песчаниково-сланцевых пород воронцовской серии и включает два комплекса ультрамафит-мафитовых пород: ультрамафит-мафитовый мамонский и ортопироксенит-норит-диоритовый еланский. Количественно преобладают мафиты мамонского комплекса елань-вязовского типа, которые характеризуются оливин-плаггиоклазовым парагенезисом. Породы еланского комплекса развиты локально, на северо-восточной оконечности плутона к ним приурочено

большое норит-диоритовое тело, вмещающее Еланское месторождение сульфидного никеля [5, 3]. Достоверно установленный возраст мафитовых пород поздней фазы внедрения мамонского комплекса – 2080+/-15 млн. лет [6].

Предполагается наличие в объеме Елань-Коленовского массива 2 – 3 фаз мамонского комплекса, 3-х фаз еланского комплекса [2, 3, 5, 6, 9], более поздних гранитоидов бобровского комплекса, а также широкий спектр дайковых пород.

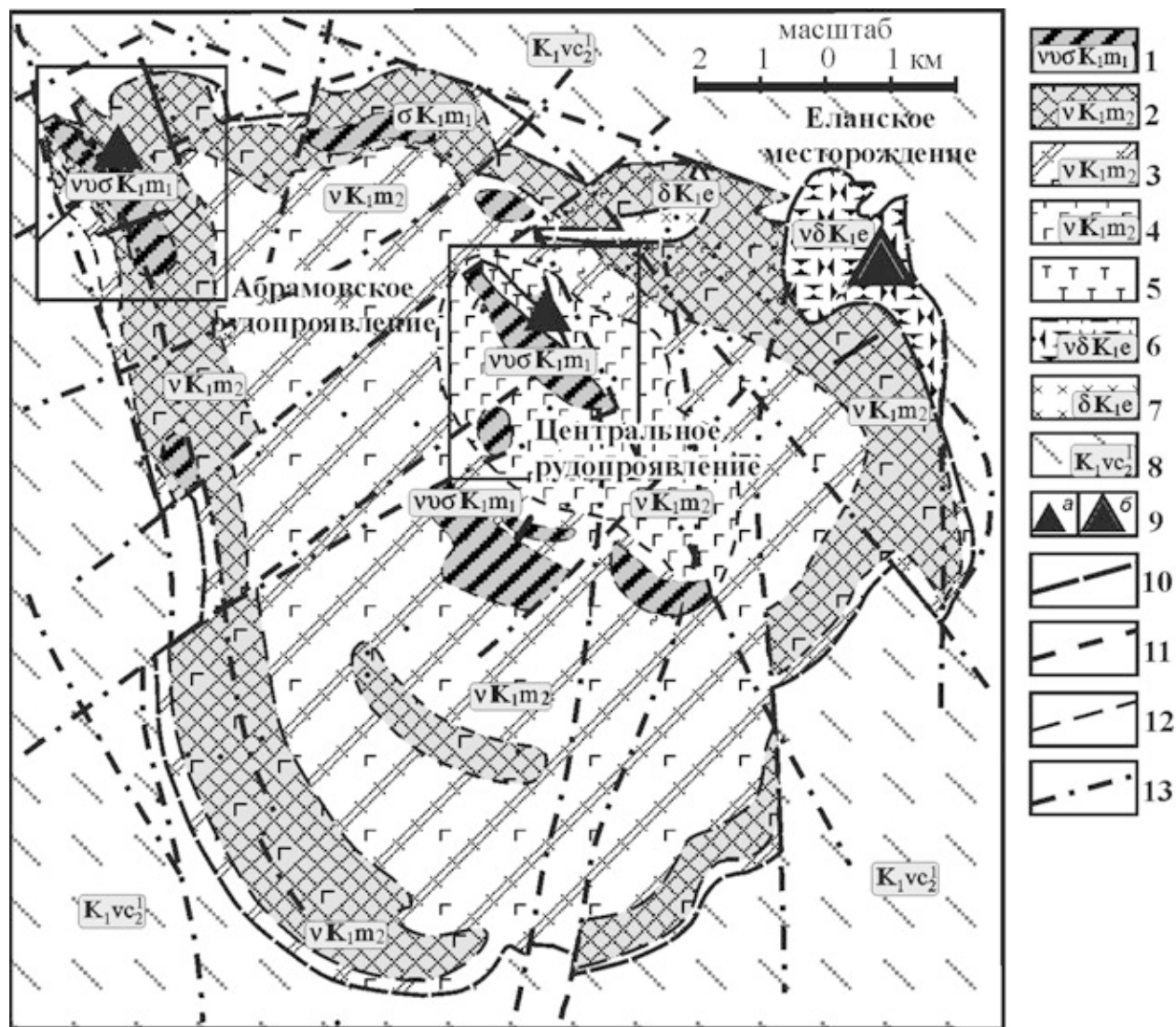


Рис. 1. Схема геологического строения Елань-Коленовского интрузива (по [5] с изменениями): 1 – зоны чередования основных и ультраосновных пород мамонского комплекса; 2–4 – мафитовые породы дифференцированной серии габброноритов II интрузивной фазы: 2 – оливиновые и оливин-ортоклазовые габбронориты, 3 – биотит-амфиболовые габбронориты, 4 – биотит-амфиболовые габбронориты и амфиболовое габбро; 5 – ортопироксениты; 6 – нориты; 7 – диориты еланского комплекса; 8 – метапесчаники воронцовской серии; 9 – рудопроявления (а) и месторождения (б); 10–12 – контакты интрузивных пород: 10 – интрузивные контакты с вмещающими метапесчаниками воронцовской серии; 11 – межфазовые интрузивные контакты; 12 – постепенные петрографические границы; 13 – тектонические разрывные нарушения; 14 – буровые скважины, керн которых был опробован на анализ ICP-MS

В Елань-Коленовском интрузиве среди пород мамонского комплекса выделяются ранняя и поздняя ассоциации. Ранняя породная ассоциация елань-вязовского типа сложена ультрамафитами, в большинстве своём плагиоклазовыми (дунитами, перидотитами, оливиновыми вебстеритами), троктолитами, оливиновыми, оливинсодержащими, оливин-ортоклазовыми и безоливиновыми габброноритами, а также (крайне редко) монцонитами [9, 10]. Эта группа магматических образований тяготеет к краевым частям Елань-Коленовского плутона [9, 10].

Поздняя породная ассоциация елань-вязовского типа сложена роговообманково-биотитовыми породами (роговообманковыми пироксенитами, пироксеновыми горнблендитами, роговообманковыми и биотитовыми габброноритами, норитами, роговообманковыми габбро) и дайковыми породами. Эти породы слагают, как правило, центральные части плутонов [3, 5, 7, 8, 9]. Петрографические характеристики пород обозначенного массива не

приводятся, ввиду их достаточно глубокой изученности ранними исследователями [9, 10].

Методика исследований

Для определения содержания малых и редких элементов были отобраны образцы из различных частей Елань-Коленовского массива, где обнаруживаются горизонты ритмичного чередования пород (рис. 1) [5, 8, 9, 10, 11]. Исследования проводились выкоточным методом индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием анализа – ICP-MS в Аналитическом сертификационном испытательном центре ИПТМ РАН (г. Черноголовка, руководитель Аналитического центра к.х.н. В.К. Карандашев) по методике, описанной в [12]. Обработка аналитических данных производилась с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2003. Геохимические данные, которые являются результатом этих анализов, и содержания петрохимических компонентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание редкоземельных, малых и петрогенных элементов в породах некоторых расслоенных серий Елань-Коленовского плутона

	7646/ 238,0ICP	7658/ 279,5ICP	7658/ 278,5ICP	7319/ 394,3ICP	7319/ 484,0ICP	7694/ 409,5ICP	7694/ 413,5ICP	7658/ 280,0ICP	7694/ 579,0ICP	7318/ 370,0ICP
Масс., %	Лерцолит	Вебстерит	Вебстерит	Амфиболлизированный вебстерит	Амфиболлизированный вебстерит	Вебстерит-плагиоклазовый	Вебстерит-плагиоклазовый	Оливиновый габбронорит	Габбронорит	Габбронорит
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	39,4	41,24	39,99	48,00	47,91	44,18	46,12	52,54	51,66	53,17
TiO ₂	0,12	0,45	0,32	0,20	0,22	0,42	0,28	0,18	0,28	0,71
Al ₂ O ₃	4,00	6,70	5,70	2,90	2,90	9,40	8,80	13,2	12,4	16,1
Cr ₂ O ₃	0,26	0,28	0,27	0,32	0,30	0,23	0,22	0,14	0,18	0,10
Fe ₂ O ₃	21,3	19,1	20,6	13,3	13,7	13,3	12,7	10,3	10,3	8,40
MnO	0,19	0,21	0,22	0,19	0,19	0,18	0,19	0,12	0,13	0,10
MgO	29,4	23,3	24,7	24,8	26,6	21,9	20,6	11,2	13,8	8,80
CaO	3,40	5,60	5,50	9,80	7,90	7,60	9,10	8,10	8,10	5,40
Na ₂ O	0,63	0,66	0,72	0,28	0,17	0,76	0,76	2,20	1,40	2,60
K ₂ O	1,20	2,2	1,70	0,15	0,07	1,30	0,61	1,50	1,20	4,10
P ₂ O ₅	0,07	0,26	0,28	0,06	0,04	0,73	0,62	0,52	0,55	0,52
S	0,45	0,30	0,17	0,03	0,25	0,006	0,03	0,06	0,01	0,02
Ni	0,07	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
Co	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,006	0,007	0,003
Cu	0,03	0,04	0,03	0,01	0,002	0,002	0,03	0,01	0,007	0,001

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Содержание редкоземельных и малых элементов в мкг/г (ppm)										
Cs	3,4	3,2	2,3	0,49	0,17	0,74	0,33	0,85	0,46	2,5
Rb	43,9	81,1	59,4	4,8	1,7	37,4	15,5	28,6	23,4	104
Ba	80	339	235	19	10	265	123	211	359	637
Th	4,0	2,3	2,1	0,69	0,30	0,78	0,61	2,5	0,53	3,0
U	1,5	0,78	0,76	0,25	0,12	0,45	0,35	1,2	0,31	1,5
K	9739	18147	13945	1266	570,06	10807	5081	12595	9999	33847
Nb	2,9	4,6	3,9	0,73	0,59	1,7	0,80	2,1	1,3	10,4
Ta	0,29	0,37	0,32	0,091	0,07	0,23	0,15	0,23	0,17	0,72
La	9,7	11,0	10,5	4,9	5,0	12,0	11,8	19,9	14,5	25,5
Ce	19,6	25,8	24,5	15,0	13,9	30,4	29,7	41,0	32,0	56,6
Pr	2,5	3,2	3,1	2,3	2,1	4,1	4,2	4,6	4,2	6,2
Sr	54,7	168	186	81,4	239	420	454	746	694	396
Nd	8,0	13,4	12,8	11,0	9,9	18,8	19,0	18,0	17,3	24,0
Sm	1,7	2,9	2,6	2,9	2,5	3,8	4,0	3,3	3,5	4,4
P	308,3	1142	1210	244,7	182,5	3170	2694	2290	2380	2263
Hf	2,5	1,4	1,4	1,6	0,77	0,43	0,57	1,2	0,64	3,1
Zr	113	48,0	53,1	56,3	20,5	13,6	15,4	39,7	18,7	130
Eu	0,20	0,44	0,46	0,44	0,38	0,95	1,0	1,3	1,1	1,0
Ti	734,7	2704	1909	1173	1340	2540	1674	1096	1664	4240
Gd	1,4	2,4	2,2	2,6	2,3	3,0	3,4	2,6	2,9	3,4
Tb	0,23	0,37	0,35	0,43	0,37	0,44	0,51	0,40	0,43	0,51
Dy	1,2	2,0	1,9	2,3	2,1	2,2	2,6	2,0	2,2	2,6
Y	6,5	9,8	8,9	11,4	10,3	12,0	13,7	9,1	9,8	12,6
Ho	0,27	0,41	0,37	0,48	0,43	0,44	0,50	0,40	0,44	0,53
Er	0,8	1,2	1,1	1,3	1,2	1,2	1,3	1,1	1,2	1,4
Tm	0,12	0,17	0,15	0,20	0,18	0,16	0,18	0,14	0,16	0,19
Yb	0,8	1,1	1,0	1,3	1,2	1,0	1,1	0,9	0,9	1,3
Lu	0,13	0,17	0,15	0,19	0,18	0,15	0,17	0,14	0,14	0,19
Tl	0,26	0,39	0,29	0,04	< ПО	0,16	0,074	0,20	0,13	0,55
W	1,1	0,47	0,60	0,15	0,68	0,10	0,22	0,38	0,17	1,5
Pb	4,3	4,1	4,0	1,3	1,6	1,4	1,4	5,6	2,5	8,8
Mo	7,3	6,0	3,1	0,12	0,077	0,23	0,52	3,1	0,21	0,50
Sn	1,6	1,4	1,3	1,0	1,2	1,0	1,0	1,3	1,1	2,1
Sb	1,9	0,67	0,88	0,33	0,72	0,39	0,22	0,51	0,44	9,4
Li	19,1	13,7	13,4	6,5	1,0	8,2	7,3	13,3	15,7	38,2
Be	0,79	0,48	0,46	0,24	0,21	0,26	0,27	1,1	0,41	1,0
Sc	30,7	30,3	24,5	49,7	39,6	36,7	42,3	20,1	25,6	17,4
V	296	221	187	286	234	185	193	143	161	115
Cr	1797	1896	1850	2165	2036	1565	1505	966	1200	695
Zn	150	147	142	105	110	113	103	83,5	87,7	89,6
Ga	5,2	8,1	7,2	5,4	5,5	10,0	9,4	12,8	11,9	15,9
As	3,1	1,0	1,4	0,60	7,5	0,48	0,41	0,70	0,83	61,3
Se	< 1,2	< 1,3	< 0,8	< ПО	< 0,8	< ПО	< 0,8	< ПО	< 0,8	< ПО
Ag	0,056	0,14	0,090	0,11	0,046	0,03	0,14	0,054	0,10	0,065
Cd	< ПО	< ПО	< ПО	0,056	< ПО	< ПО	< ПО	0,23	< ПО	< ПО
Te	0,13	< 0,15	< 0,07	< 0,07	< ПО	< ПО	< 0,09	< ПО	0,11	< ПО
Bi	0,012	0,15	0,15	0,18	0,054	0,010	0,052	0,035	0,054	0,054

Дискриминационные отношения содержаний малых элементов в породах Елань-Коленовского плутона

$$(La/Yb)_n \text{ и } (Ce/Yb)_n$$

Для пород Елань-Коленовского массива характерны высокие отношения $(La/Yb)_n$ и $(Ce/Yb)_n$

(табл. 2), что свидетельствует либо о вхождении в первичный расплав пород материала коры, либо о недеплетированности источника этого расплава (мантии). Такой результат также говорит о низкой степени плавления гранатсодержащего вещества при образовании первичного расплава [4].

Таблица 2

Дискриминационные отношения содержаний редкоземельных, редких и рассеянных элементов в породах некоторых расслоенных серий Елань-Коленовского плутона

	7646/ 238,0ICP	7658/ 279,5ICP	7658/ 278,5ICP	7319/ 394,3ICP	7319/ 484,0ICP	7694/ 409,5ICP	7694/ 413,5ICP	7658/ 280,0ICP	7694/ 579,0ICP	7318/ 370,0ICP
	Лерцолит	Вебстерит	Вебстерит	Амфиболлизированный вебстерит	Амфиболлизированный вебстерит	Вебстерит-плагиоклазовый	Вебстерит-плагиоклазовый	Оливиновый габбронорит	Габбронорит	Габбронорит
$(La/Yb)_n$	8,91	7,13	7,69	2,77	3,02	8,82	7,60	16,17	10,95	14,51
$(Ce/Yb)_n$	6,95	6,51	6,97	3,32	3,26	8,65	7,43	12,90	9,38	12,44
Eu/Eu*	0,39	0,50	0,57	0,48	0,49	0,82	0,78	1,25	1,09	0,73
Ba/Th	20,0	149,8	111,16	27,1	33,6	341,6	201,5	83,4	681,9	212,2
U/Th	0,38	0,34	0,36	0,37	0,39	0,58	0,58	0,46	0,59	0,50
Cs/Th	0,86	1,40	1,07	0,71	0,56	0,96	0,54	0,34	0,87	0,84
Th/Yb	5,11	2,06	2,17	0,55	0,25	0,80	0,55	2,87	0,56	2,38
Nb/Ta	9,92	12,31	12,11	7,99	8,45	7,49	5,47	9,03	7,38	14,46
Zr/Hf	44,6	33,5	37,2	35,6	26,7	31,6	26,9	34,3	29,3	41,8
Rb/Sr	0,802	0,482	0,319	0,059	0,007	0,089	0,034	0,038	0,034	0,264
Nd/Sm	4,75	4,67	4,90	3,79	4,01	4,94	4,68	5,41	5,01	5,50
Nb/Yb	3,70	4,19	4,00	0,58	0,50	1,73	0,72	2,35	1,35	8,23

Примечание: значения $(La/Yb)_n$ и $(Ce/Yb)_n$ приведены как нормированные к хондриту С1. Образцы из скв. 7319 амфиболлизированны и частью данных (Ba, Rb, Sr, K) по ним можно пренебречь.

*Eu/Eu**

Значение отношения Eu/Eu* подразделяет породы Елань-Коленовского массива на два типа: имеющие показатель на уровне 0,4–0,6 (т.е. отрицательная аномалия) и на уровне 0,7–1,2 (т.е. близкий к единице) (табл. 2). Это свидетельствует об интенсивном процессе фракционирования (уходе в остаточную фазу) плагиоклаза в случае пород 1-й группы (далее «ранняя породная ассоциация») и гораздо слабее проявленном, а иногда и не проявленном у пород 2-й группы (далее «поздняя породная ассоциация»). Стоит отметить, что породы этих групп отличаются также петрографически: во вторую группу не входят оливиновые ультрамафиты, а в первую – мафиты, пироксениты второй группы являются либо роговообманковосодержащими либо роговообманковыми (роговая обманка первично-магматического происхождения) и пространственно тяготеют к восточной части массива. Отмечается также пространственная дифференциация: ультрамафиты (пироксениты) 2-ой группы приурочены к восточной половине Елань-Коленовского массива, которые предыдущими исследова-

телями [9, 10] рассматривались как самые поздние.

Ba/Th, U/Th, Cs/Th

Для пород Елань-Коленовского массива характерно повышенное отношение Ba/Th (83–628 (в среднем порядка 100–200) (табл. 2), за исключением амфиболлизированных и высокомагнезиальных пород). Отношение U/Th довольно высокое и постоянное – 0,3–0,6 (табл. 2). Несколько выше отношение Cs/Th – 0,3–1,4 (табл. 2). Известно, что относительные концентрации Ba, U, Cs, Sr, Pb считаются индикаторами флюидного субдукционного компонента [4]. Отдельные высокие значения отношений Ba/Th (более 200), U/Th (более 0,4) и Cs/Th (более 1) позволяют говорить о высокой вероятности того, что на расплав Елань-Коленовского массива оказал влияние флюид субдукционного происхождения.

Nb/Ta

Фракционное (неравновесное или частичное) плавление приводит к появлению магматического рестита (остатка) с отношением Nb/Ta меньше 17 (значение для хондрита) при низких концентраци-

ях Nb. В результате повторного плавления рестита выплавляются более деплетированные магмы с относительно низким Nb/Ta отношением [4]. Для пород Елань-Коленовского плутона отношение Nb/Ta колеблется в пределах 5,5–14,5 (табл. 2). Следовательно, породы Елань-Коленовского плутона образовались в результате фракционного плавления различной степени.

Zr/Hf

Отношение Zr/Hf в исследуемых породах различное (27 – 45) и отчетливых закономерностей не прослеживается (табл. 2). Однако стоит отметить, что низкое значение этого параметра свидетельствует о деплетированности первоначального источника расплава [4]. Учитывая петрографические особенности пород (высокое содержание оливина в породах на определенных участках плутона и др.), схематично выделяются следующие группы: район Абрамовского рудопроявления (скв. 7318) и северный участок ультраосновных пород (скв. 7646) – Zr/Hf = 42–45, западный участок чередования габброноритов и пироксенитов (скв. 7658) – Zr/Hf = 33–37, центральный блок распространения роговообманковых пород (скв. 7319, 7694) – Zr/Hf = 27–36.

Rb/Sr и Nd/Sm

Отношение Rb/Sr в породах Елань-Коленовского плутона сильно варьирует, но не превышает 1 и определенных закономерностей не отмечается. В данном случае, поведение этих элементов, возможно, было обусловлено вторичными процессами. Отношение Nd/Sm является практически постоянной величиной и укладывается в узкий коридор значений от 3,8 до 5,5 (табл. 2). Исследователями установлено, что низкие концентрации некогерентных элементов и низкие отношения более некогерентного элемента к менее когерентному (Rb/Sr) являются признаками того, что магматический источник испытал процесс предшествующего плавления (т.е. считается деплетированным) [4]. Анализируемые данные не позволяют однозначно утверждать, что магматический источник Елань-Коленовского массива испытал такой процесс.

Распределение редкоземельных элементов

Распределение PЗЭ, нормированное к хондриту C1

Кривая распределения PЗЭ, нормированных к хондриту C1 (рис. 2), в породах Елань-Коленовского массива характеризуется плавным наклоном. Это обусловлено преобладанием лёгких PЗЭ относительно средних (Sm – Ho) и тяжёлых PЗЭ, а

также небольшим преобладанием средних PЗЭ относительно тяжёлых PЗЭ. Как известно [4], преобладание лёгких PЗЭ относительно тяжёлых PЗЭ вызвано фракционированием при плавлении исходного вещества (частичным плавлением). Обогащение средними PЗЭ относительно лёгких и тяжёлых полностью контролируется амфиболом [4]. В исследованных образцах содержание роговой обманки и других амфиболов иногда достигает 15 %, в случае амфиболизации содержание этих минералов гораздо выше. При детальном анализе нормализованных содержаний PЗЭ обнаруживаются две группы с их различным распределением и несколько различной формой кривой распределения.

1-я группа: образцы 7646/238,0ICP (лерцолит), 7658/279,5ICP (вебстерит плагиоклаз-биотитовый), 7658/278,5ICP (вебстерит плагиоклаз-биотитовый), 7319/394,3ICP (амфиболизованный (изменённый) вебстерит), 7319/484,0ICP (амфиболизованный (изменённый) вебстерит).

Для ультрамафитов западной части Елань-Коленовского плутона характерна крутая форма кривой распределения PЗЭ (преобладание лёгких PЗЭ относительно тяжёлых PЗЭ), нормированных к хондриту C1 (рис. 3). Также для них характерна ясно выраженная отрицательная аномалия Eu (Eu/Eu* = 0,39–0,57).

2-я группа: образцы 7694/409,5ICP (вебстерит плагиоклазовый), 7694/413,5ICP (вебстерит плагиоклазовый), 7658/280,0ICP (габбронорит оливинный), 7694/579,0ICP (габбронорит), 7318/370,0ICP (габбронорит).

Для ультрамафитов восточной части и габброноритов различных частей Елань-Коленовского массива характерна относительно плавная форма кривых распределения PЗЭ (преобладание лёгких PЗЭ относительно средних PЗЭ и некоторое преобладание средних PЗЭ относительно тяжёлых PЗЭ), нормированных к хондриту C1 (рис. 4). Также для них не характерны яркие аномалии Eu (Eu/Eu* = 0,73–1,25).

Распределение PЗЭ, нормированное к базальтам океанических островов (OIB)

При нормализации к OIB значения содержаний PЗЭ в породах Елань-Коленовского массива имеют малые вариации и попадают в узкую область от 0,1 до 0,7 (рис. 5). При детальном анализе кривых распределения здесь также выделяется две группы образцов, к которым относятся те же образцы, что и при нормализации к хондриту C1.



Рис. 2. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989) [13]

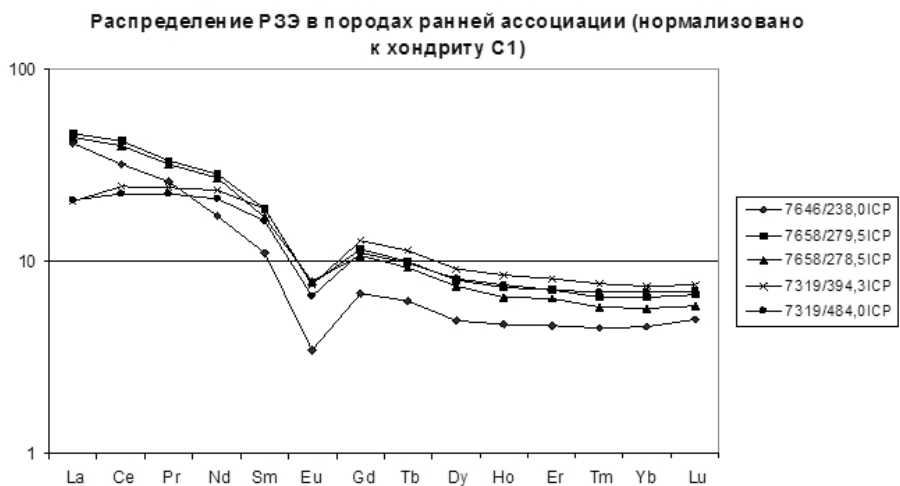


Рис. 3. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989) [13]



Рис. 4. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989) [13]

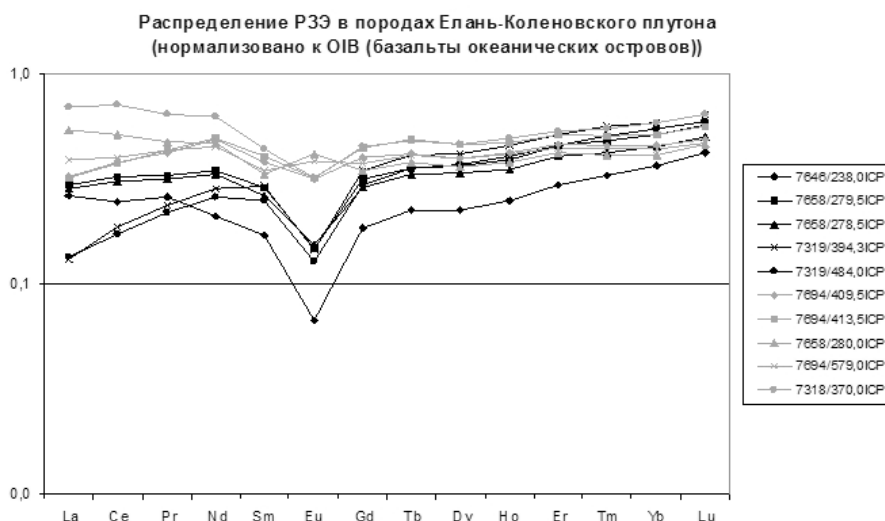


Рис. 5. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989) [13]

1-я группа: образцы 7646/238,0ICP (лерцолит), 7658/279,5ICP (вебстерит плагиоклаз-биотитовый), 7658/278,5ICP (вебстерит плагиоклаз-биотитовый), 7319/394,3ICP (амфиболизированный вебстерит), 7319/484,0ICP (амфиболизированный вебстерит).

Для ультрамафитов западной части Елань-Коленовского плутона характерно небольшое преобладание тяжёлых РЗЭ над лёгкими РЗЭ, а также отрицательная аномалия Eu (рис. 6). Образцы из скважины 7319 представлены амфиболизированными породами, что может объяснить преобладание средних РЗЭ над лёгкими РЗЭ на кривой распределения нормализованных значений. 2-я группа: образцы 7694/409,5ICP (вебстерит плагиоклазовый), 7694/413,5ICP (вебстерит плагиоклазовый), 7658/280,0ICP (габбронорит оливинный),

7694/579,0ICP (габбронорит), 7318/370,0ICP (габбронорит).

Для ультрамафитов восточной части и габброноритов различных частей Елань-Коленовского массива характерны кривые нормированных значений распределения РЗЭ близкие по форме к горизонтальной прямой (рис. 7). Значения укладываются в узкий диапазон от 0,3 до 0,7, выраженных аномалий не наблюдается. Такое близкое сходство пород Елань-Коленовского плутона с базальтами океанических островов, имеющих плюмовый недеплетированный источник исходного расплава, может быть вызвано скорее тем, что источник изначального расплава Елань-Коленовского массива был обогащён за счёт материала (субдукционного (?)) коры, а не плюмовой природой.



Рис. 6. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989) [13]

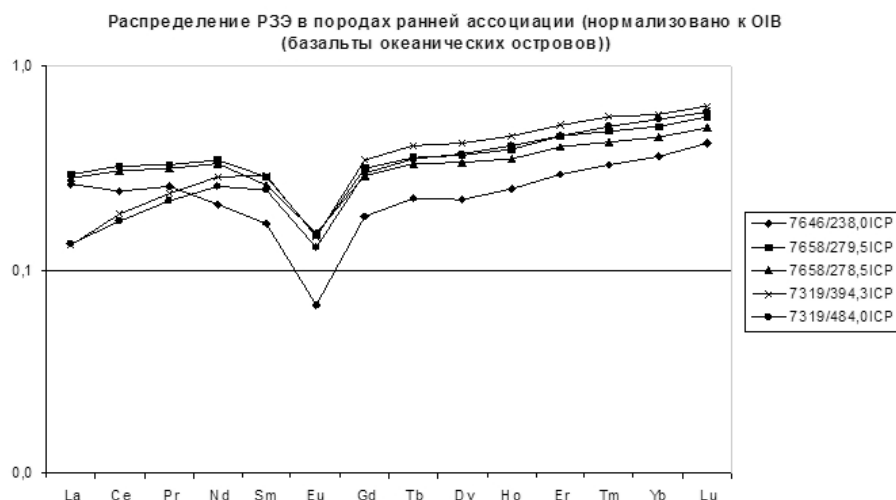


Рис. 7. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989) [13]

Мультиэлементная диаграмма значений содержания, нормированных к примитивной мантии

Для пород Елань-Коленовского массива в целом характерен большой разброс содержаний крупноионных (Cs, Rb, Ba, K) и высокозарядных (Hf, Zr, Ti) элементов (рис. 8). Для крупноионных элементов характерны высокие содержания, пониженные их значения наблюдаются у амфиболизированных образцов, что и могло быть вызвано процессом амфиболизации. Содержание Ti в образцах имеет общую тенденцию к созданию отрицательной аномалии. Поведение Eu двояко, что описано выше. Каких-либо закономерностей в распределении Hf и Zr выявлено не было (нормализованные значения варьируют от 1 до 10).

Крупноионные некогерентные и лёгкие редкоземельные элементы, равно как и U и Th, преобладают над тяжёлыми РЗЭ, причём наибольшее

преобладание характерно для крупноионных элементов. Такое поведение крупноионных литофильных элементов (LILE), Th и U в породах обусловлено либо тем, что происхождение исходного расплава связано с плавлением погружающейся океанической коры или осадка, либо с воздействием флюда на расплав, образовавшегося в результате дегидратации метасоматически проработанной океанической коры и осадка [4]. Также на кривых распределения наблюдается отчётливая отрицательная аномалия Nb и Ta.

При нормировании мультиэлементных данных к N-MORB выявляются аналогичные особенности распределения крупноионных некогерентных, лёгких редкоземельных элементов, Nb, Ta и Ti, которые были обнаружены предыдущими исследователями [1, 3].



Рис. 8. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989) [13]

В данном исследовании диаграммы нормирования к N-MORB не приводятся, так как из нижеследующих классификационных диаграмм следует, что исходный расплав пород Елань-Колоновского массива не относился к базальтам срединно-океанических хребтов (MORB).

Дискриминационные треугольные диаграммы Th-Hf/3-Ta и La/10-Y/15-Nb/8

Практически все (кроме одной) точки нормированных к 100 % содержаний Th, 1/3*Hf и Ta попадают в поле островодужных лав данной диа-

граммы (рис. 9). Такой результат был ожидаем, исходя из положительной аномалии Th и U, и отрицательной – Ta на мультиэлементной диаграмме данных, нормированных к примитивной мантии.

Породы Елань-Колоновского плутона, исходя из диаграммы La/10-Y/15-Nb/8 (рис. 10), относятся к серии известково-щелочных базальтов. Образцы, которые попадают в область толеитов вулканических дуг, представляют собой амфиболизированные породы. Интерпретация на диаграмме этих данных может являться не достоверной.



Рис. 9. Диаграмма Th-Hf-Ta для базальтов (Wood, 1980) (по [14])



Рис. 10. Диаграмма La-Y-Nb (Cabanis, Lecolle, 1979) [15]

Обобщение результатов

Анализ геохимических данных выявил множество обозначенных выше формулировок, характеризующих возможные причины обнаруженного при исследовании поведения редкоземельных и малых элементов в Елань-Коленовском массиве. При одновременном утверждении однозначно выявляющихся параметров, удалении из рассмотрения исключающие друг друга или неоднозначные результаты, и принимая данные, которые свидетельствуют об отсутствии какого-либо фактора, можно прийти к следующей совокупности выводов. Весьма вероятно, что исходный расплав Елань-Коленовского массива сформировался в зоне активной плитной окраины, вобрал в себя переплавленный материал погруженной океанической коры или осадка, либо был под воздействием флюида, образовавшегося в результате дегидратации такого метасоматически проработанного материала. При кристаллизации массива в его расплаве происходило перераспределение лантаноидов и одни породы («ранняя» ассоциация) несут более выраженные следы фракционного плавления и уход (отсутствии) плагиоклаза из среды, а другие («поздняя» ассоциация) – менее выраженные следы такого плавления и отсадку плагиоклаза в среде. Это явление находит петрографическое и минералогическое подтверждение.

Согласно представлениям множества авторов [16, 17, 18] природа мафит-ультрамафитов мамонского и пород еланского комплекса внутриплитная рифтогенная. Но в 2007 году А.А. Щипанским [19] была выдвинута иная модель формирования структуры ВКМ, основные идеи и проблемы которой освещены в недавней работе В.М. Ненахова [20]. Согласно этой модели формирование части лосевской серии связано с процессом субдукции океанической коры, в результате чего возникают парадоксальные сочетания плюмовых и субдукционных геохимических характеристик у сопряженных метариолитов и metabазальтов. А.А. Щипанский с соавторами предполагает также формирование воронцовского комплекса на океанической коре за счёт размыва вулканической дуги [19, 20]. Выводы по анализу геохимических данных Елань-Коленовского плутона, предложенные в данной работе, обнаруживают определённое соответствие с описанной моделью. Однако, спорность этой модели обозначена в работе В.М. Ненахова с соавторами [20], но также в этой работе указана необходимость дальнейшего уточнения геодинамической модели развития ВКМ.

Геодинамические выводы об условиях формирования Елань-Коленовского массива являются результатом частного случая интерпретации небольшого числа анализов ИСР и, поэтому не могут однозначно подтверждать или опровергать ни одну из геодинамических моделей строения ВКМ или моделей образования указанного плутона. Автор данной работы полагает, что описанные в ней результаты могут служить фактическим материалом для дальнейших исследований, как частный случай интерпретации геохимических данных по Елань-Коленовскому массиву.

Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12 – 05 – 31297.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов Н. М. Качественная оценка образования первичного магматического расплава Елань-Вязовского плутона / Н. М. Чернышов, Ю. Д. Синюков // Вестн. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 1998. – № 6. – С. 106–117.
2. Чернышов Н. М. Петрогенетические и геохимические особенности Елань-Вязовского плутона в связи с оценкой его перспектив на малосульфидное платинометаллическое оруденение / Н. М. Чернышов, Ю. Д. Синюков, М. Н. Чернышова // Тез. докл. Междунар. симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ : тез. докл. – М. : ИМГРЭ, 1997. – С. 308–309.
3. Чернышов Н. М. Проявления нелинейных петрогенетических процессов при формировании некоторых типов ультрамафит-мафитовых интрузий мамонского никель-платиноносного комплекса докембрия ВКМ (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. ун-та. Серия : Геология. – 1997. – № 4. – С. 43–55.
4. Мартынов Ю. А. Основы магматической геохимии / Ю. А. Мартынов. – Владивосток : Дальнаука, 2010. – 228 с.
5. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
6. Чернышов Н. М. Уран-свинцовый возраст норитдиоритовых интрузий еланского никеленосного комплекса и их временные соотношения с габброноритами дифференцированных ультрамафит-мафитовых плутонов мамонского комплекса ВКМ / Н. М. Чернышов [и др.] // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 8. – С. 1064–1071.
7. Чернышов Н. М. Породообразующие минералы никеленосных интрузий ВКМ / Н. М. Чернышов, Г. Г. Дмитренко. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1979. – 248 с.
8. Бочаров В. Л. Строение и состав Еланского никеленосного плутона в краевой части Воронежского кристаллического массива / В. Л. Бочаров, С. М. Фро-

лов, Н. М. Чернышов // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1986. – № 4. – С. 10–20; № 5. – С. 42–49.

9. Фролов С. М. Некоторые особенности строения и сингенетические ряды пород Елань-Коленовского плутона / С. М. Фролов // Вопросы геологии КМА. – 1978. – Вып. 2. – С. 31–38.

10. Фролов С. М. Петрография никеленосной перидотит-габброноритовой формации ВКМ / С. М. Фролов // Воронеж. гос. ун-т. – 1988. – 171 с. – Деп. в ВИНТИ.

11. Овсянников А. И. Проявления тонкоритмичного чередования пород в пределах Елань-Коленовского плутона, как индикатор малосульфидного платинометалльного оруденения / А. И. Овсянников // Геологическая среда, минерагенические и сейсмоструктурные процессы: материалы XVIII Международной научно-практической конференции 24–29 сентября 2012 года. – Воронеж : Научная книга, 2012. – С. 233–237.

12. Olive V. A. Protocol for the determination of the rare earth elements at picomole level in rocks by ICP-MS: Results on geological reference materials USGS PCC-1 and DTS-1 / V. Olive, R. M. Ellam, L. Wilson // Geostandards Newsletter – the Journal of Geostandards and Geoanalysis. – 2001. – Vol. 25. – P. 219–228.

13. Sun S.-s. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S.-s. Sun, W. F. McDonough // Geological Society, London, Special Publications. – 1989. – Vol. 42. – P. 313–345.

14. Wood D. A. The application of Th-hf-Ta diagram to problem of tectonomagmatic classification and to establish the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province / D. A. Wood // Earth and Planetary Science Letters. – 1980. – Vol. 50. – P. 11–30.

15. Cabanis B. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale / B. Cabanis, M. Lecolle // C.R. Acad. Sci. Ser. II. – 1989. – V. 309. – P. 2023–2029.

16. Чернышов Н. М. Геодинамическая модель формирования ВКМ / Н. М. Чернышов [и др.] // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–31.

17. Чернышов Н. М. Современные представления о глубинном строении, геодинамике и металлогении ВКМ / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов : материалы Международной конференции. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 2001. – С. 18–21.

18. Чернышов Н. М. Геодинамические особенности становления континентальной коры Курского и Хоперского мегаблоков ВКМ / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов // Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы : материалы Международной конференции. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 2002. – Т. 1. – С. 143–144.

19. Щипанский А. А. Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое / А. А. Щипанский [и др.] // Геотектоника. – 2007. – № 1. – С. 43–70.

20. Ненахов В. М. Геодинамическая модель ВКМ как основа многоцелевого регионального прогноза / В. М. Ненахов, С. В. Бондаренко, Г. С. Золотарева // Геологическая среда, минерагенические и сейсмоструктурные процессы : материалы XVIII Международной научно-практической конференции 24–29 сентября 2012 года. – Воронеж : Научная книга, 2012. – С. 214–217.

*Воронежский государственный университет
А. И. Овсянников, аспирант кафедры минералогии,
петрографии и геохимии
Тел. 8 (473) 246-83-83
Pyramidal_mines@mail.ru*

*Voronezh State University
A. I. Ovsyannikov, post-graduate student, the Chair of
Mineralogy, Petrography and Geochemistry
Tel. 8 (473) 246-83-83
Pyramidal_mines@mail.ru*