

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ КОМАТИИТОВ ЛЬГОВСКО-РАКИТНЯНСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА КМА В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ИХ ПЕТРОГЕНЕЗИСА (НА ПРИМЕРЕ КОСИНОВСКОГО УЧАСТКА)

Е. М. Соловьева

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 29 февраля 2012 г.

Аннотация. Впервые на примере Косиновского участка неоархейского Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса КМА установлено два типа перидотитовых коматиитов: деплетированные глиноземом (ADK-ТЕК) и не деплетированные (AUK). Некоторое обогащение пород Cs, U, Th и LREE, а также значения отношений $(Nb/Th)_{mn} = 0,48$, $(Th/Sm)_{mn} = 2,20$ некоторых образцов свидетельствуют о вероятной контаминации коматиитового расплава коровым веществом. На основе модели строения мантийного плюма сделано предположение, что различные типы коматиитов могли быть производными разных по глубинности частей одного и того же плюма.

Ключевые слова: Al-деплетированные коматииты, Al-недеплетированные коматииты, Курская магнитная аномалия, Косиновский участок

Abstract. For the first time two types of peridotitic komatiites: alumina-depleted (ADK-TEK) and alumina-undepleted (AUK) were established, as exemplified by the Kosinovskiy site of the Neo-Archean Lgov-Rakitnyansky greenstone belt of the KMA. Some enrichment of rocks by Cs, U, Th and LREE, and, also, values of the ratios of $(Nb/Th)_{mn} = 0,48$ and $(Th/Sm)_{mn} = 2,20$ of some species, tells about probable contamination of mantle melts by material of the crust. On the basis of the model of the mantle plume structure it has been suggested that different types of komatiites could be formed and lifted up from different depths of one and the same plume.

Key words: aluminum-depleted komatiite, aluminum-undepleted komatiite, Kursk magnetic anomaly, Kosinovskiy site

Введение

Коматииты служат характерной составной частью осадочно-вулканогенных толщ архейских зеленокаменных поясов. Состав коматиитов отражает состав архейской мантии [1, 2]. Химический состав коматиитов зависит от состава источника; давления, температуры и степени частичного плавления мантийного субстрата.

В данной работе рассмотрены геохимические характеристики метаморфизованных перидотитовых коматиитов в пределах Косиновского участка Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса КМА.

Геологическое строение

Курская гранит-зеленокаменная область (КГЗО) входит [3, 4] в состав Воронежского кристаллического массива, составляя его западную часть, относимую к Сарматскому сегменту Восточно-Европейского кратона (ВЕК). КГЗО характеризуется сложным строением, длительной историей формирования и обнаруживает корреляцию с соответ-

ствующими структурами Украинского щита. В западной и центральной частях КМА (рис. 1) располагаются два четко выраженных неоархейских зеленокаменных пояса северо-западного простирания – Льговско-Ракитнянский (Белгородско-Михайловский) и Алексеевско-Воронецкий (Орловско-Тимской). Первый из них протягивается на 300–400 км, Алексеевско-Воронецкий – приблизительно на 400 км. Предполагается двухэтапное формирование зеленокаменных структур [3–6]: первый этап, во время которого преобладали условия растяжения – энсиалического рифтогенеза, обусловившего формирование метакоматиит-базальтовой ассоциации нижней части разреза зеленокаменного пояса и второй этап – коллизионный, связанный с закрытием рифтогенных структур и формированием гранитоидов.

Исследованию неоархейских ультрамафит-мафитовых пород КМА посвящено немало работ [4, 7–14 и др.]. Основная часть разреза Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса представлена двумя по характеру фациальных условий классами ультрамафит-мафитовых пород: субвулканическим (дунит-перидотит-габбровая формация) и вулкани-

ческим (коматиит-базальтовая формация) [7–12]. Все породы испытали метаморфизм зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций, интенсивное рассланцевание [7–12], так что первичные текстуры и контакты практически не сохранились. Определяющее значение при диагностике пород имеют петрогеохимические критерии.

Косиновский участок расположен в центральной части Львовско-Ракитнянского зеленокаменного пояса (рис. 1). Вулканиды здесь сохранились в форме узких линейных структур север-северо-западного простирания, представляющие единое геологическое тело (длина составляет 15–20 км, ширина – 2–4 км). Разрез характеризуется чередованием апокоматиитовых серпентинитов и метабазитов [7–12].

Геохимические особенности метаморфизованных ультрамафитовых пород

Перидотитовые коматииты представлены серпентинитами в разной степени карбонатизированными и амфиболитизированными, имеющие преимущественно метаморфические (с редкими реликтами порфировой) структуры. На известных классификационных диаграммах они соответствуют одноименным полям [13]. Для пород посчитан нормативный состав, для этого химические анализы коматиитов пересчитаны на «сухой» остаток: оливин – 32–45 объем.%, гиперстен – 30–38 объем.%, диопсид – 3–7 объем.%, плагиоклаз – 7–9 объем.%. Породы характеризуются высоким содержанием MgO – 27,78–36,76 вес.% (Mg/(Mg + Fe) 0,77–0,84), крайне низкой щелочностью ($\Sigma(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) < 0,30 \%$, $\text{Na}_2\text{O} \gg \text{K}_2\text{O}$); содержание Sr 1528,57–3752 ppm, Ni 1213,00–2277,52 ppm.

В качестве главных параметров химической классификации высокомагнезиальных вулканических пород [15–17] используются три элемента Mg, Al и Ti, поскольку они имеют наиболее широкое распространение в земной коре и устойчивы при метаморфизме. Mg – главный элемент, отражающий генетическую природу (степень плавления мантийного субстрата) и степень дифференциации магматического расплава в процессе петрогенеза, составляющий основу доминирующих минеральных фаз высокомагнезиальных вулканических пород (оливин, пироксены). Al и Ti – геохимически относительно инертные, резко амфотерные элементы, склонные к концентрации и стабильные при метаморфизме, а их отношение $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ – (алюмо-титановый модуль – АТМ), как правило, соответствует АТМ материнского магматического

расплава. Согласно [1, 18] на Косиновском участке Львовско-Ракитнянского зеленокаменного пояса выделено 2 типа перидотитовых коматиитов: 1) Al-деплетированные, Ti-обогащенные (тип Барбертон), 2) Al-недеплетированные и Ti-деплетированные коматииты (тип Мунро).

Al-деплетированные коматииты (ADK-TEK – *aluminum-depleted komatiite – Ti-enriched komatiites*) характеризуются (рис. 2, табл. 1) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 = 9,58–13,48$ (среднее 11,15, $n = 6$), $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{mn}} = 1,28–1,96$ (среднее 1,54, $n = 6$) и попадают в поле коматиитов барбертонского типа [13]. Спектры редких земель (рис. 3) имеют различное обогащение LREE ($(\text{La}/\text{Sm})_{\text{mn}} = 0,62–3,68$) и слабо дифференцированный вид для средних-тяжелых REE ($(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{mn}} = 1,28–1,96$) на уровне примитивной мантии. По геохимической классификации [1] коматииты принадлежат преимущественно типу деплетированных тяжелыми РЗЭ и истощенных (обогащенных) легкими РЗЭ (группа 2 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{n}} > 1,0$; класс 4 – $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{n}} < 1,0$, класс 5 – $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{n}} > 1,0$), чем подчеркивается их сходство с зеленокаменной провинцией Барбертон.

Al-недеплетированные коматииты (AUK – *aluminum-undepleted komatiite*) (рис. 2, табл. 1) характеризуются $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 = 17,39–19,08$ (среднее 18,58, $n = 4$), $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{mn}} = 0,88–1,07$ (среднее 0,98, $n = 2$) и попадают в поле коматиитов типа Мунро [20]. Спектры редких земель (рис. 3) имеют слабо дифференцированный вид ($(\text{La}/\text{Sm})_{\text{mn}} = 1,20–1,6$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{mn}} = 0,88–1,07$) на уровне примитивной мантии.

Некоторое обогащение ADK-ТЕК и AUK Cs, U, Th и LREE (легкими редкоземельными элементами), а также значения отношений $(\text{Nb}/\text{Th})_{\text{mn}} = 0,45–0,51$ (среднее 0,48, $n = 2$), $(\text{Th}/\text{Sm})_{\text{mn}} = 1,77–2,62$ (среднее 2,20, $n = 2$) некоторых образцов свидетельствуют о вероятной контаминации коматиитового расплава коровым веществом.

По данным проведенных работ построен схематический разрез (рис. 4) дифференцированного потока коматиитов Львовско-Ракитнянского зеленокаменного пояса.

Таким образом, на территории Косиновского участка Львовско-Ракитнянского зеленокаменного пояса установлены деплетированные глиноземом (ADK-ТЕК) и не деплетированные (AUK) коматииты, находящиеся пространственно в пределах одного геологического тела. Это находит сходство с зеленокаменными поясами Абитиби в Канаде, которые содержат оба типа коматиитов [21]. Различные типы архейских коматиитов лучше всего

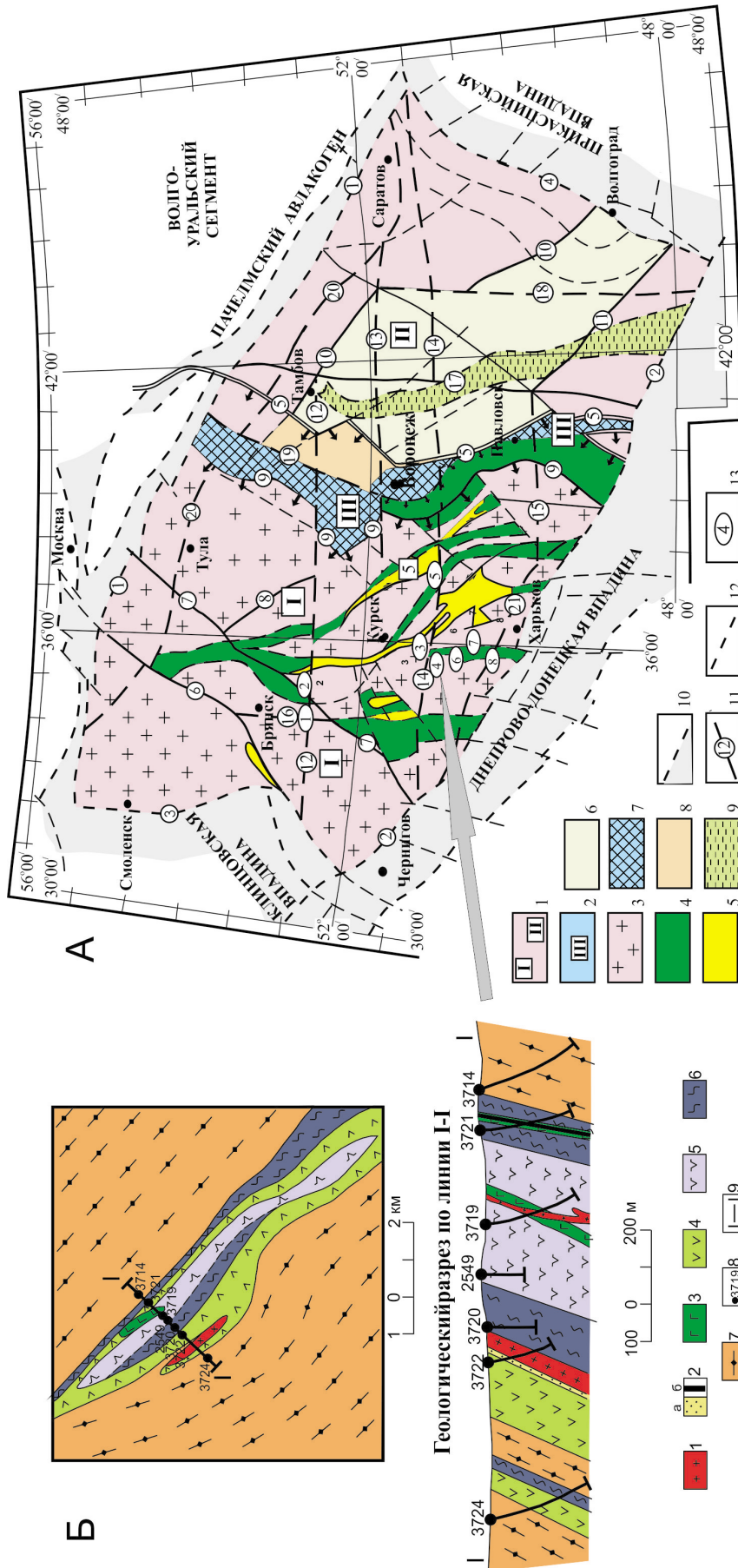


Рис. 1. А – Геолого-тектоническая схема Воронежского кристаллического массива [3, 4]: 1 – мезозархейские мегаблоки: Курский (I) и Хоперский (II); 2 – Лосевская шовная зона (III) палеопротерозоя; 3–5 – структурно-вещественные комплексы мезо- (3) и неогарха (4), палеопротерозоя; 6 – Воронежский эпипротерозой; 7 – Лосевская шовная зона палеопротерозоя; 8 – Воронежско-Шукавская наложенная грабен-синклиналь; 9 – Калач-Эртильская наложенная структура (реактивизированный рифт); 10 – границы ВКМ; 11 – линейные структурные элементы: 1–4 – глубинные разломы, структурные швы мантейного заложения (внеаранговые); 5 – Лосевско-Мамонский надвиг (1-го ранга); 6–11 – глубинные корово-мантейные разломы (2-го ранга): 6 – Кировско-Клиновский, 7 – Серпуховско-Бахмачский, 8 – Мценско-Ливенский, 9 – Рязско-Кантемировский (надыг), 10 – Тамбовско-Балашов-Волгоградский, 11 – Чернышевский; 12–21 – трансрегиональные сквозные разломы корово-мантейные (2-го ранга): 12 – Трубчевско-Липецкий, 13 – Воронежско-Курский, 14 – Суджанско-Икорецкий, 15 – Куянско-Богучарский, 16 – Белопольско-Навлинский, 17 – Шумлинско-Новохоперский, 18 – Михайловский, 19 – Графский, 20 – Торонец-Саратовский, 21 – Конотоп-Куянский; 2 – Жидевский, 3 – Дичнянский, 4 – Косиновский, 5 – Александровский, 6 – Ивнянско-Береговой, 7 – Висловский, 8 – Олимпийский; Б – схема геологического строения коматитовой толщи Косиновского участка [12]: 1 – плагиоклаз-микроклиновые граниты; 2 – а) кремнистые породы, б) железистые кварциты; 3 – габро-амфиболиты; 4 – метабазиты; 5–6 – апокоматитовые серпентиниты; 7 – гранито-гнейсы; 8 – скважина и ее номер; 9 – линия разреза

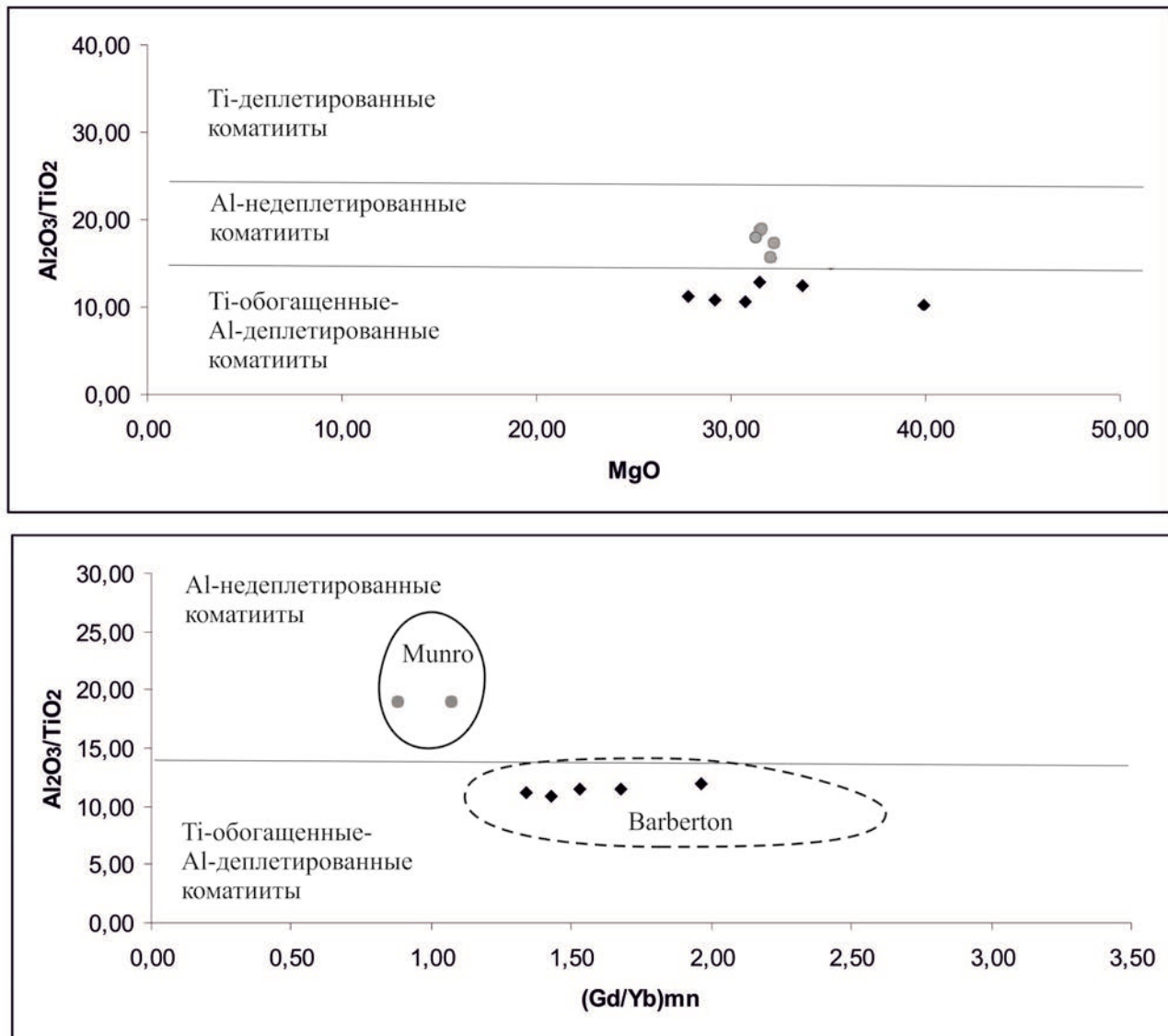


Рис. 2. Положение точек коматиитов КМА на классификационных диаграммах Al_2O_3/TiO_2 -MgO [16] и Al_2O_3/TiO_2 -(Gd/Yb)_{mn} [18] для коматиитов из зеленокаменных поясов древних кратонов. Нормировано к примитивной мантии [19]

объясняются частичным плавлением разных частей плюма на разных глубинах (рис. 5). В настоящее время наиболее распространенной моделью происхождения коматиитовых расплавов является модель декомпрессионного плавления поднимающегося мантийного плюма. При этом состав расплавов определяется глубиной и температурой плавления мантийного вещества. Эта модель основана на многочисленных экспериментальных и расчетных данных [22–26]. Так при высоких РТ-параметрах плавления мантийного материала ($T = 2000$ °С, $P = 150$ кбар) гранат (майджорит) является стабильной фазой и концентрируется в рестиците, что приводит к деплетированию ультраосновного расплава алюминием. При дальнейшем

подъеме плюма, с падением температуры и давления на глубине менее 200 км, ликвидусной фазой становится оливин. В результате при высоких степенях частичного плавления возникают ультраосновные расплавы Al-недеплетированного типа. На небольших глубинах (50–80 км) мантийный диапир становится источником базальтовых магм.

На основе сравнения с моделью строения мантийного плюма [25, 26] можно предположить, что коматииты Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса могли быть производными разных по глубинности частей одного и того же плюма. То есть АДК-ТЕК ($Al_2O_3/TiO_2 = 10,76$, $(Gd/Yb)_{mn} = 1,54$) предположительно возникли при частичном плавлении гранатового перидотита в источнике.

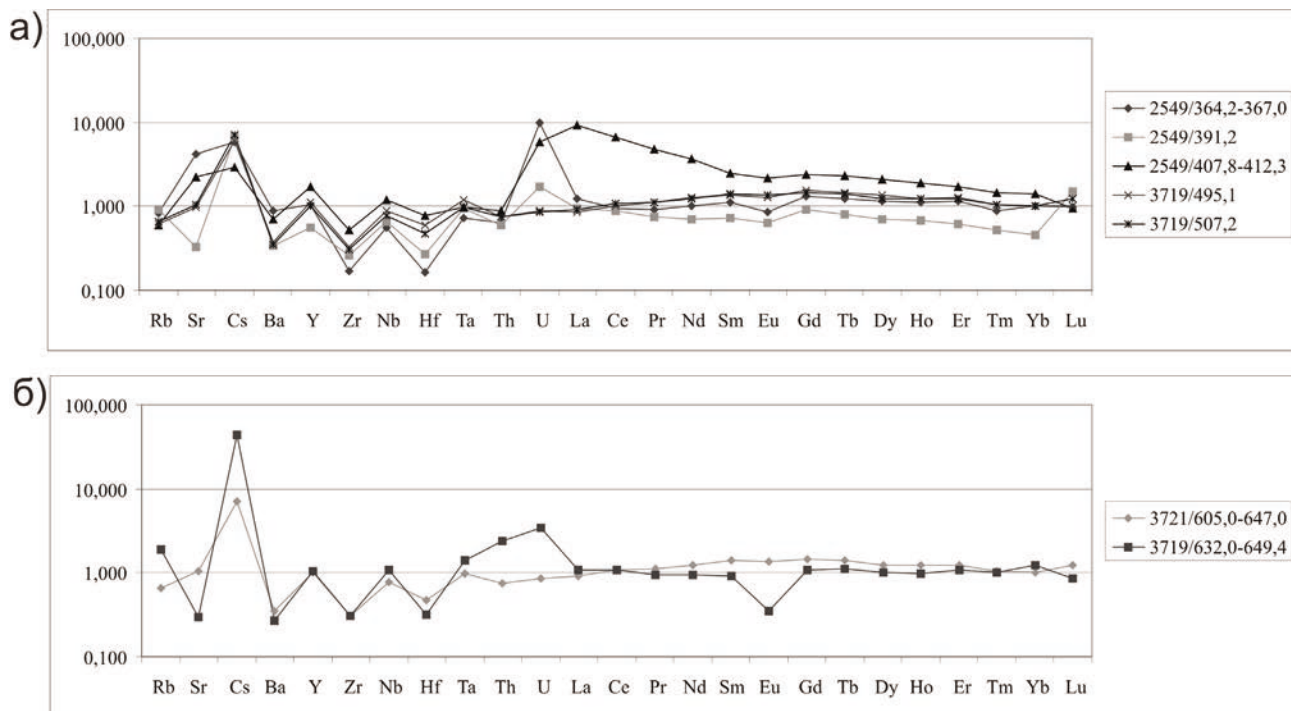


Рис. 3. Нормализованные к примитивной мантии по [19] концентрации редкоземельных и редких элементов в коматиитах Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса: а) Al-деплетированные, б) Al-недеплетированные

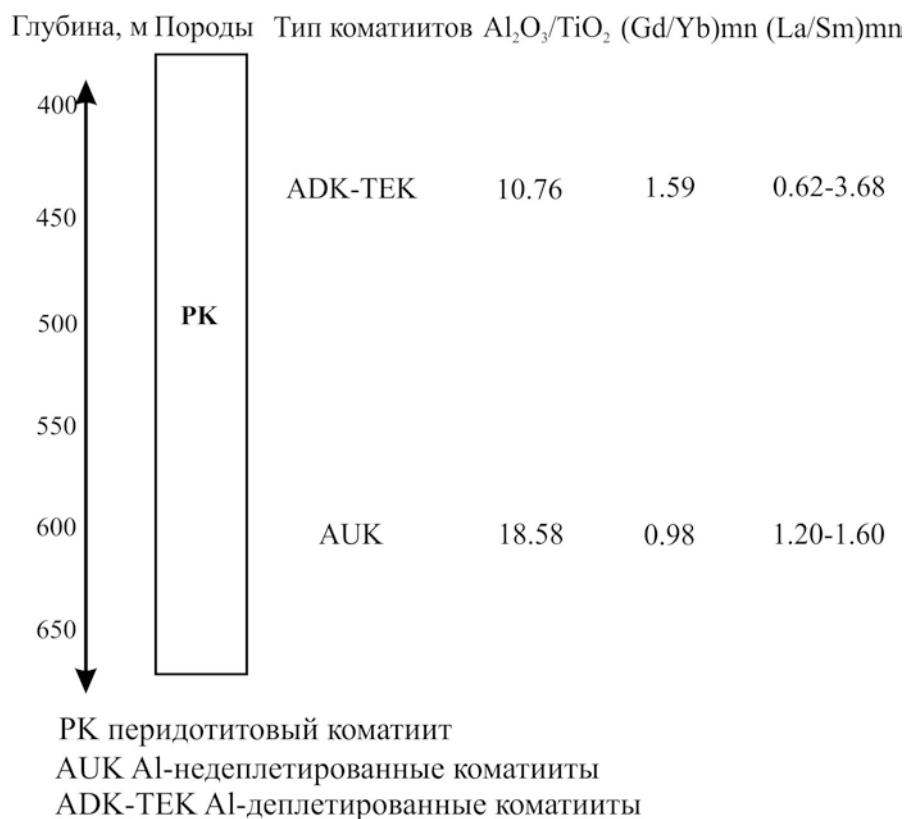


Рис. 4. Схематический разрез дифференцированного потока коматиитов в пределах Косиновского участка Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса. Построен на основе корреляции данных по скважинам 2549, 3719, 3721

Таблица 1

Химические составы метаморфизованных коматиитов Косиновского участка
Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса КМА

Компоненты	*2549/ 391,2	2549/ 364,2– 367,0	2549/ 407,8– 412,3	3719/ 469,4	3719/ 495,1	3719/ 507,2	3719/ 632,0– 649,4	3721/ 605,0– 647,0	3719/ 632,0	3719/ 682,0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	46,18	39,16	46,65	48,79	44,47	45,58	44,72	44,48	45,29	44,27
TiO ₂	0,21	0,21	0,23	0,29	0,33	0,29	0,24	0,25	0,27	0,25
Al ₂ O ₃	2,50	2,83	2,28	3,25	3,16	3,15	4,57	4,77	5,14	4,37
Cr ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	0,27	0,40
Fe ₂ O ₃	12,78	15,39	12,37	6,14	15,11	13,94	14,69	16,01	6,84	7,95
FeO	–	–	–	–	–	–	–	–	5,81	6,02
MnO	0,20	0,27	0,19	0,21	0,21	0,21	0,20	0,18	0,19	0,21
MgO	36,76	32,18	29,13	27,78	30,56	29,19	31,53	30,15	31,44	32,17
CaO	1,26	9,90	8,95	8,39	5,99	7,51	3,91	4,09	4,39	4,02
Na ₂ O	0,08	0,00	0,13	0,05	0,12	0,09	0,10	0,04	0,30	0,26
K ₂ O	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
P ₂ O ₅	0,01	0,05	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,03	0,03
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	11,89	13,48	9,91	11,22	9,58	10,81	19,05	19,08	18,80	17,39
CaO/Al ₂ O ₃	0,50	3,50	3,93	2,58	1,90	2,39	0,85	0,86	0,85	0,92
Mg/(Mg+Fe)	0,84	0,79	0,81	0,82	0,79	0,79	0,80	0,77	0,82	0,81
Cr	1721,35	1528,57	2033,14	1913,00	2252,00	1981,00	2733,00	3752,00	–	–
Ni	2277,52	1683,07	1363,27	1556,00	1886,00	1753,00	1743,00	1213,00	–	–
Co	105,28	106,93	108,19	90,00	115,00	100,00	117,00	95,50	–	–
Cu	22,02	6,97	35,18	43	36,20	47,50	25,20	5,80	–	–
Nb	0,47	0,39	0,85	–	0,64	0,56	0,58	0,78	–	–
Y	2,56	4,68	7,72	–	5,10	4,60	4,00	4,70	–	–
Th	0,05	0,05	0,07	–	0,06	0,06	0,13	0,21	–	–
La	0,65	0,86	6,28	1,00	0,60	0,60	0,73	0,70	–	–
Ce	1,60	1,70	11,70	2,60	1,80	1,90	2,0	1,90	–	–
Pr	0,21	0,25	1,34	0,39	0,31	0,31	0,26	0,26	–	–
Nd	0,94	1,37	4,93	2,10	1,70	1,70	1,30	1,30	–	–
Sm	0,33	0,50	1,10	0,72	0,61	0,62	0,40	0,41	–	–
Eu	0,11	0,15	0,36	0,28	0,22	0,23	0,12	0,06	–	–
Gd	0,54	0,78	1,40	1,2	0,94	0,87	0,58	0,64	–	–
Tb	0,09	0,13	0,25	0,19	0,16	0,15	0,11	0,12	–	–
Dy	0,51	0,84	1,53	1,2	1,0	0,91	0,71	0,75	–	–
Ho	0,11	0,19	0,31	0,27	0,20	0,20	0,15	0,16	–	–
Er	0,30	0,55	0,83	0,8	0,62	0,58	0,47	0,51	–	–
Tm	0,04	0,07	0,11	0,12	0,08	0,08	0,07	0,07	–	–
Yb	0,23	0,50	0,69	0,74	0,51	0,50	0,45	0,60	–	–
Lu	0,04	0,07	0,11	0,12	0,07	0,07	0,06	0,09	–	–
(Gd/Yb) _{mn}	1,96	1,28	1,68	1,34	1,53	1,43	1,07	0,88	–	–
(La/Sm) _{mn}	1,29	1,11	3,68	0,90	0,62	0,65	1,20	1,16	–	–
(Th/Sm) _{mn}	0,81	0,56	0,35	–	0,55	0,53	1,77	2,62	–	–
(Nb/Th) _{mn}	1,11	0,88	1,36	–	1,19	1,06	0,51	0,45	–	–

Примечание: *2549/364,2–367,0 – номер скважины/ глубина, м. Окислы в вес.% (1–3, 5–8 – РФА, ИГЕМ, 2010 г., 4 – [12], 9, 10 – [7]), рассеянные элементы в ppm (1–3, 5–8 – ICP MS, ИПМТ, 2010 г., 4 – [12]), «–» – нет данных. 1–6 – ADK-TEK, 7–10 – AUK. Полный химический состав редких элементов приведен в [7].

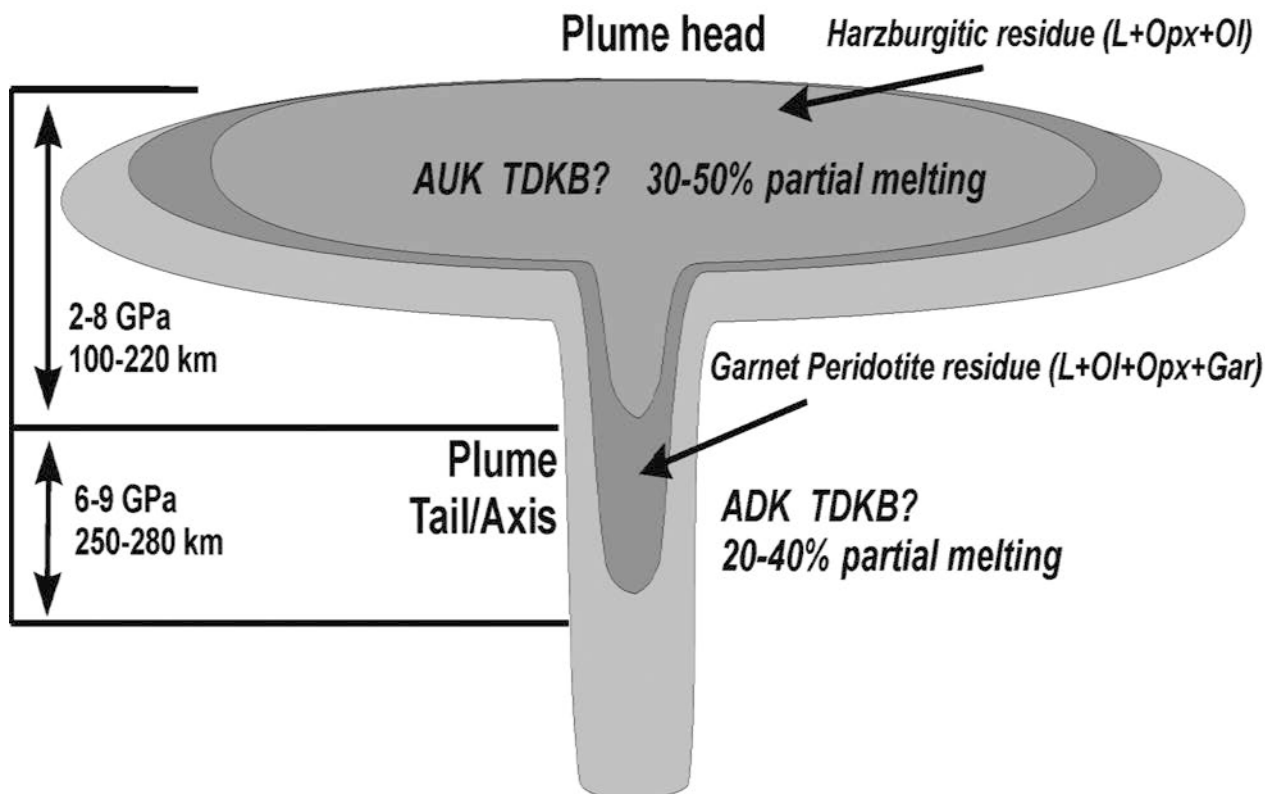


Рис. 5. Модель строения мантийного плюма [25, 26]. L = liquid; Ol = olivine; Opx = orthopyroxene; Gar = garnet

Расплавы АУК ($Al_2O_3/TiO_2=18,58$, $(Gd/Yb)_{mn} =$ = среднее 0,98) выплавлялись на меньшей глубине или при более высокой степени частичного плавления гранатового перидотита в источнике.

Заключение

В пределах Косиновского участка Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса установлены два типа перидотитовых коматиитов: деплетированные глиноземом (АДК-ТЕК) и не деплетированные (АУК). Некоторое обогащение пород Cs, U, Th и LREE, а также значения отношений $(Nb/Th)_{mn} = 0,48$, $(Th/Sm)_{mn} = 2,20$ некоторых образцов свидетельствуют о вероятной контаминации коматиитового расплава коровым веществом. На основе модели строения мантийного плюма можно предположить, что коматииты могли быть образованы и вынесены из разных по глубинности частей одного и того же плюма.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК № 14.740.11.1273

ЛИТЕРАТУРА

1. Jahn B. Komatiites of the Onverwacht group, S. Africa: REE geochemistry, Sm/Nd age and mantle evolution / B. Jahn, G. Cruau, A.Y. Glikson // Contrib. Mineral. Petrol. – 1982. – V. 80. – P. 25–40.

2. Sproule R. A. Spatial and temporal variations in the geochemistry of komatiitic in the Abitibi greenstone belt / R. A. Sproule [et al.] // Precambrian research. – 2002. – № 115. – P. 153–186.

3. Чернышов Н. М. Структурно-тектоническое районирование ВКМ (по геологическим и геофизическим данным) / Н. М. Чернышов [и др.] // Современные проблемы геологии : материалы юбилейной научной сессии геолог. ф-та ВГУ. – Воронеж, 1998. – С. 5–7.

4. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) : монография / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 2004. – 448 с.

5. Чернышов Н. М. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов, И. П. Лебедев // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–30.

6. Чернышов Н. М. Главнейшие типы геодинамических и минерагенических рядов в общей модели формирования докембрийской литосферы (на примере ВКМ) / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2010. – № 2. – С. 47–58.

7. Бочаров В. Л. Ультрамафит-мафитовый магматизм гранит-зеленокаменной области КМА / В. Л. Бочаров, С. М. Фролов, А. Н. Плаксенко, В. Н. Левин. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1993. – 176 с.

8. Бочаров В. Л. Геохимия и рудоносность ультрамафит-мафитовых формаций Воронежского кристалли-

ческого массива : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Киев, 1985. – 56 с.

9. Крестин Е. М. Коматииты позднеархейских зеленокаменных поясов Воронежского кристаллического массива / Е. М. Крестин // Сов. геология. – 1980. – № 9. – С. 84–97.

10. Ножкин А. Д. Радиоактивные элементы в породах раннего докембрия (на примере КМА) / А. Д. Ножкин, Е. М. Крестин. – М. : Наука, 1984. – 126 с.

11. Чернышов Н. М. Гипербазиты КМА / Н. М. Чернышов, В. Л. Бочаров, С. М. Фролов. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1981. – 252 с.

12. Которгин Н. Ф. Архейские зеленокаменные пояса Центрального региона России / Н. Ф. Которгин. – М. : Современные тетради, 2001. – 164 с.

13. Боброва Е. М. Новые данные о петрогеохимических особенностях ультрамафит-мафитовых пород неархейского Льговско-Ракитнянского зеленокаменного пояса КМА (на примере Косиновского участка) / Е. М. Боброва // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2011. – № 1. – С. 103–116.

14. Арестова Н. А. Раннедокембрийский мафит-ультрамафитовый магматизм Сарматии (временные и пространственные закономерности) / Н. А. Арестова, С. Б. Лобач-Жученко, Т. Е. Салтыкова // Материалы III Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия. – 2011. – С. 15–18.

15. Куликов В. С. Коматииты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита / В. С. Куликов [и др.]. – Л. : Наука, 1988. – 191 с.

16. Куликов В. С. Классификация высокомагнезиальных магматических пород / В. С. Куликов, В. В. Куликова // Материалы 2-й ежегодной науч. конф. «Петрология магматических и метаморфических комплексов». – Томск, 2001. – Вып. 2. – С. 146–151.

17. Куликова В. В. Петрохимические серии магматических пород / В. В. Куликова [и др.]. – Петрозаводск, 2001. – 115 с.

18. Sproule R. A. Geochemistry and Metallogenesis of Komatiitic Rocks in the Abitibi Greenstone Belt, Ontario; Ontario Geological Survey / R. A. Sproule [et al.]. – Open File Report 6073, 2003. – 119 p.

19. Sun Sh. S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes / Sh. S. Sun, W. F. McDonough // Magmatism in ocean basins. Geol. Soc. Spec. Public. – 1989. – № 42. – P. 313–345.

20. McDonough W. F. The composition of the Earth / W. F. McDonough, Sh. S. Sun // Chemical Geology. – 1995. – № 120. – P. 223–253.

21. Condie K. C. Mantle plumes and their record in Earth history / K. C. Condie. – Cambridge : Cambridge University Press. U.K., 2001. – 306 p.

22. Bickle M. J. The petrogenesis of peridotitic komatiites: evidence from highpressure melting experiments / M. J. Bickle, C. E. Ford, E. G. Nesbet // Earth and Planet. Sci. Lett. – 1977. – V. 37. – P. 97–106.

23. Ohtani E. Partitioning of elements between majorite garnet and melt and implications for petrogenesis of komatiite / E. Ohtani, J. Kawabe, J. Moriyama // Contr. Miner. Petrol. – 1987. – V. 103. – P. 263–269.

24. Гирнис А. В. Генезис коматиитов и коматиитовых базальтов / А. В. Гирнис, И. Ф. Рябчиков, О. А. Богатиков. – М. : Наука, 1987. – 120 с.

25. Campbell I. H. Melting in an Archaean mantle plume: heads it's basalts and tails it's komatiites / I. H. Campbell, R. W. Griffiths, R. I. Hill // Nature. – 1989. – V. 339. – P. 697–699.

26. Campbell I. H. Implications of mantle plume structure for the evolution of flood basalts / I. H. Campbell, R. W. Griffiths // Earth and Planetary Science Letters. – 1990. – V. 99. – P. 79–93.

*Воронежский государственный университет
Е. М. Соловьева, аспирант кафедры минералогии,
петрографии и геохимии
Тел. 8 (473) 220-87-79
samorodok2006@mail.ru*

*Voronezh State University
E. M. Solovyova, post-graduate student, Chair of
Mineralogy, Petrography and Geochemistry
Tel. 8 (473) 220-87-79
samorodok2006@mail.ru*