

УДК 550.4:552.11:553.3/4

ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД АЮДАГСКОГО АРЕАЛА ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Гусев А.И.

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

Приведены новые данные по геохимии, петрологии и рудоносности основных и кислых интрузивных пород среднеюрского возраста Аюдагского ареала Южного Берега Крыма. В составе интрузивов выделены 5 фаз: меланогаббро, двупироксеновые долериты, габбро-долериты, диориты и гранофировые граниты. Ранние фазы отнесены к высокотитанистой группе, а поздние – к низкотитанистой. Все породы показывают признаки пералюминиевого типа и варьирующей железистости и магниальности. По геохимическим данным устанавливаются признаки плавления субстрата обогащённой мантии по сложному сценарию, в котором прослеживается сочетание островодужной обстановки и плюмовой. Островодужная обстановка могла быть вызванной функционированием мантийного плюма. Отмечаются признаки близости к Дюпаль аномалии. Генерация ранних фаз массивов происходила в результате небольшой степени частичного плавления шпинелевого перидотита. Расслоение интрузивов привело к формированию титанового оруденения.

Ключевые слова: меланогаббро, двупироксеновые долериты, габбро-долериты, диориты, умеренно-щелочные гранофировые граниты, геохимия, островодужная обстановка, плюмтектоника, плавление шпинелевого перидотита, титаномагнетит

PETROLOGY AND ORE MINERALIZATION OF INTRUSION ROCKS AUDAGSKII AREAL OF SOUTH COAST CRIMEA

Gusev A.I.

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

New data on geochemistry, petrology and ore mineralization of basic and acid rocks Middle Jurassic Audagskii areal of South Coast Crimea lead. 5 phases detached in composition of intrusions: melano-gabbro, two pyroxene dolerites, gabbro-dolerites, diorites and granophyres granites. Early phases carry to high titanium group, but late phases – to low titanium. All rocks show signs of peraluminous and vary ferroan and magnesian. The signs of melting substrate of rich mantle on compose script arranged on geochemistry data in that follow combination island arc setting and plum. The island arc setting can be call by function of mantle plum. A signs of nearness to Dupal anomalies mark. Generation early phases of massifs happened in result small degrees of melting spinel peridotites. Lamination of intrusion lead to forming titanium ore mineralization.

Keywords: melano-gabbro, two pyroxene dolerites, gabbro-dolerites, diorites and moderate alcalic granophyres granites, geochemistry, island arc setting, plumtectonic, melting spinel peridotites, titanomagnetite

Южный Берег Крыма по своему положению весьма близок к структурам Западного Кавказа. В этой части Горного Крыма, как и на Большом Кавказе, известны проявления эффузивного и интрузивного магматизма юрского возраста. Однако изучение магматических пород Крыма проводилось в 30–60-е годы прошлого века. Наиболее свежие данные относятся к началу 90-х годов прошлого века [3, 4]. Новых аналитических данных по большей части магматических образований нет, что сказывается на устаревших представлениях по многим проблемам магматизма. *Цель настоящей статьи* – охарактеризовать свежими аналитическими данными проявления основного магматизма Аюдагского ареала Южного Берега Крыма среднеюрского возраста и составить современные представления на его петрогенезис и рудоносность.

Результаты исследований и их обсуждение

Аюдагский ареал основного интрузивного магматизма включает в себя массив

Аюдаг, небольшие выходы пород на мысе Партенит, Чамлы-Бурун, также мелкие дайкообразные тела в близи указанных массивов.

Аюдагский интрузивный массив, его сателлит – массив мыса Партенит и Чамлы-Бурун сложены породами 5 фаз внедрения: меланогаббро, двупироксеновыми долеритами, габбро-долеритами, диоритами и гранофировыми гранитами. Породы массивов несут черты расслоенности. Наиболее ранние и меланократовые фазы располагаются, как правило, по вертикали на низких отметках и к ним тяготеют участки и линзы обогащения титаномагнетитом и хромшпинелидами (до 25% по объёму). По составу титаномагнетит из обогащённых титаномагнетитом линз относится к глинозёмистой разновидности (масс. %): FeO – 39,0–40,9, Fe₂O₃ – 33,1–33,8, TiO₂ – 16,0–16,8, Al₂O₃ – 5,6–6,8, MgO – 3,3–3,9, MnO – 0,2–0,6. Петрографические описания пород приведены у [3]. Кратко охарактеризуем лишь ранее не описанные меланогаббро, обнаруженные в береговой и подводной части мыса Партенит. Это мас-

сивные, местами полосчатые породы. Структура пород средне-крупнозернистая, офитовая. Плаггиоклаз по химизму и оптическим показателям относится к битовниту-анортиту (№ 95-83) в ядрах, а по периферии – лабрадору (№ 51-56). Пироксен и оливин ксеноморфны по отношению к плаггиоклазу. Ильменит и титаномагнетит резко ксеноморфны и приурочены к интерстициям зёрен плаггиоклаза, оливина и пироксена. В титаномагнетите присутствует значительное количество вростков ильменита и шпинели (герцинита). В некоторых меланогаббро с высоким содержанием титаномагнетита концентрации TiO_2 достигают 16–18%. Из аксессуаров в них обнаружены циркон, апатит, пирротин, пентландит, кобальтин, бравоит, халькопирит, пирит. В них также присутствуют акцессорные самородные минералы,

представленные оловом (0,01 г/т), ферритом, свинцом, висмутом, графитом, что указывает на сильно восстановительную среду при кристаллизации меланогаббро.

Химический состав пород приведен в таблице.

Отношения U/Th во всех породных типах менее 1, что указывает на неизменённый вторичными наложенными процессами состав пород. Разности первых двух фаз относятся к высоко-титанистой серии, а все остальные породы – к низко-титанистой. Если породы ранних фаз внедрения характеризуются признаками нормальной известково-щелочной серии и преобладанием натрия над калием, то заключительные гранитофировые граниты – к умеренно-щелочной ветви и преобладанием калия над натрием.

Химический состав пород горы Аюдаг

	1	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	42,55	45,91	46,11	47,85	47,65	48,1	56,0	72,93
TiO ₂	4,01	3,84	3,76	3,56	0,7	0,65	0,73	0,07
Al ₂ O ₃	17,07	13,93	13,89	14,12	16,7	16,8	16,77	13,86
Fe ₂ O ₃	8,15	1,4	1,35	1,4	2,3	2,2	2,4	0,35
FeO	6,23	10,52	10,45	10,56	10,34	9,56	7,11	1,96
MnO	0,15	0,16	0,15	0,14	0,2	0,21	0,24	0,03
MgO	4,65	7,6	7,65	7,54	4,4	4,3	2,1	0,17
CaO	10,8	9,7	9,8	9,6	10,3	10,4	7,45	0,8
Na ₂ O	2,75	2,84	2,85	2,78	2,4	2,34	3,51	3,83
K ₂ O	0,20	0,4	0,35	0,28	0,92	0,95	0,84	5,27
P ₂ O ₅	0,4	0,35	0,34	0,32	0,16	0,14	0,15	0,02
Be	1,0	1,01	1	2,1	0,39	1,05	1,02	3,8
Sc	76,7	24,03	25	33	36,3	51	36	7,4
V	345,4	232,5	283	283	194,5	298	245	31
Cr	485	14,8	56	250	262,6	403	255	28
Co	65,5	36,8	50	47	36,6	54	43	5,1
Ni	135	5,8	74	122	103,3	73	94	5,6
Ga	19,8	21,4	24	21	23,3	15	15,8	19,4
Rb	19,8	24,6	3,5	1,55	3,7	7,5	22	225
Sr	455	459,6	357	406	184,8	116	158	180
Y	25,8	29,05	27,1	36	18,2	31	33	33
Zr	167	183,2	168,2	203	58,8	76	122	183
Nb	31,3	26,2	28,3	22	3,80	1,37	6,6	26
Cs	1,1	1,94	0,36	0,22	0,14	0,37	1,46	13,8
Ba	256	293,1	175,3	87	51,6	46	147	437
La	34,5	19,9	25,4	19	4,07	2,9	8,1	64
Ce	72,0	42,3	56,3	43	9,8	9	22	110
Pr	0,24	6,2	7,8	5,9	1,47	1,46	2,8	13,3
Nd	36,0	25,08	34	26	7,3	8,5	14,1	49
Sm	8,3	5,6	7,7	6,4	2,1	2,9	4	8,6
Eu	1,75	1,89	2,8	2,4	0,87	0,91	1,26	1,34
Gd	5,5	5,50	7,8	7,1	2,80	4,2	5,2	7,3

Окончание таблицы								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tb	1,35	0,93	1,11	1,2	0,52	0,81	0,93	1,13
Dy	8,7	5,5	5,6	6,9	3,3	5,2	5,7	5,6
Ho	0,46	0,99	1,03	1,34	0,66	1,1	1,21	1,08
Er	0,33	2,9	2,6	4	1,88	3,2	3,5	3
Tm	0,70	0,42	0,34	0,57	0,29	0,5	0,54	0,43
Yb	7,7	2,5	2,1	3,8	1,8	3,2	3,3	2,6
Lu	0,70	0,38	0,3	0,54	0,27	0,46	0,49	0,4
Hf	4,9	4,5	6,8	5,3	1,67	2,4	3,6	5,7
Ta	1,35	1,53	1,85	1,45	0,23	0,099	0,45	2,8
W	0,35	0,41	1,4	2,7	0,42	0,21	0,23	0,48
Th	0,9	2,3	2,2	1,85	0,43	0,44	2,4	19,8
U	0,5	0,59	0,71	0,57	0,11	0,071	0,49	2,7
(La/Yb) _N	2,96	5,3	7,98	3,3	1,49	0,6	1,62	16,25
La/Nb	1,1	0,76	0,89	0,86	0,28	2,11	1,23	2,46
La/Sm	4,16	3,55	3,29	2,97	1,94	1,0	2,03	7,44
Sr/Y	17,6	15,8	13,2	11,3	10,2	3,74	4,79	5,45
Zr/Nb	5,3	7,0	5,94	9,23	15,47	55,5	18,48	7,04
Zr/Y	6,5	6,3	6,2	5,6	3,2	2,45	3,7	5,5
U/Th	0,55	0,25	0,32	0,308	0,26	0,16	0,204	0,14
Ba/Nb	8,17	11,2	6,2	3,95	13,58	33,6	22,3	16,8
La _{UCN}	1,15	0,66	0,85	0,63	0,14	0,1	0,27	2,1
Sm _{UCN}	1,84	1,24	1,71	1,42	0,47	0,64	0,89	1,91
Eu/Eu*	0,90	0,085	0,064	0,073	0,205	0,103	0,084	0,029

Примечание. 1 – меланогаббро, 2–4 – двупироксеновые долериты; 5–6 габбро-долериты; 7 – диорит, 8 – умеренно-щелочной гранофировый гранит. La_{UCN} и Sm_{UCN} содержания La и Sm, нормированные к концентрациям в верхней коре по [15]; содержания La, Yb нормированы по [5]. Eu* = (Sm_N·Gd_N)/2.

Нормированные к хондриту отношения (La/Yb)_N в породах сильно варьируют от 0,6 в габбро-долеритах до 16,25 в умеренно-щелочных гранофировых гранитах, указывая на различную степень дифференциации РЗЭ в породах.

На диаграмме Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) – Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) все фигуративные

точки составов располагаются в поле перлюминиевых пород (рис. 1, а). Соотношение SiO₂ – Fe₂O₃ / (Fe₂O₃+MgO) указывает на различную принадлежность пород к железистым и магнезиальным разностям (рис. 1, б), что, вероятно, связано с процессами дифференциации в камере по сценарию расслоения.

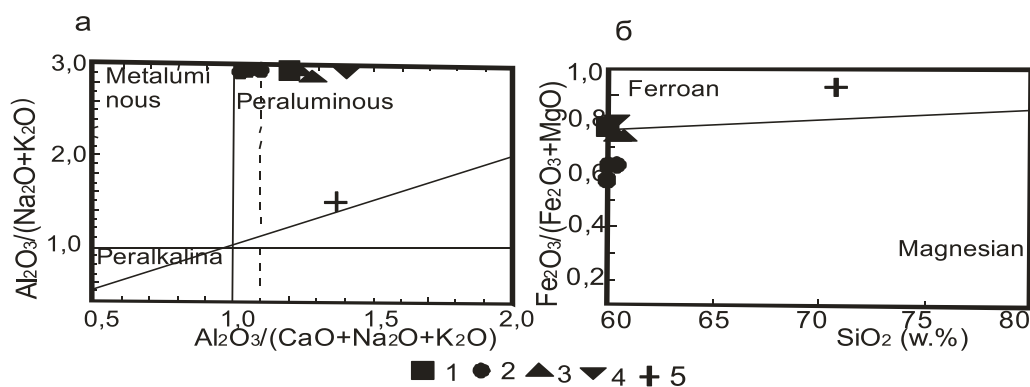


Рис. 1. а- диаграмма Al₂O₃/(N₂O+K₂O) – Al₂O₃/(N₂O+K₂O+CaO) по [8] и б – диаграмма SiO₂ – Fe₂O₃ / (Fe₂O₃+MgO) для пород кагельского комплекса. Породы Аюдагского ареала: 1 – меланогаббро, 2 – двупироксеновые долериты, 3 – габбро-долериты, 4 – диорит, 5 – умеренно-щелочной гранофировый гранит

Соотношение $Zr/Nb - Zr/Y$ показывает, что фигуративные точки составов пород попадают на линию смешения щелочных океанических базальтов плюмовой природы и нормального океанического базальта срединно-океанических хребтов (СОХ).

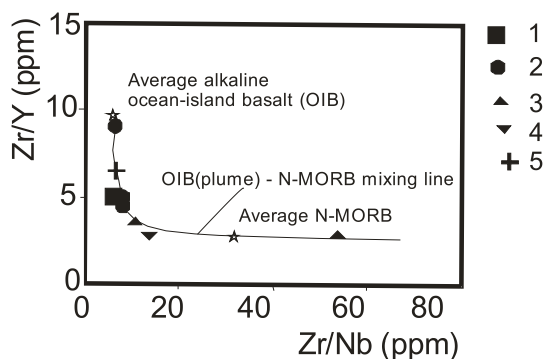


Рис. 2. Диаграмма $Zr/Y - Zr/Nb$ по [13] для пород Аюдагского ареала

Звёздочками отмечены: Average alkaline ocean basalt (OIB) – средний состав щелочного океанического базальта (OIB); Average N-MORB – средний состав нормального океанического базальта (СОХ); OIB (plume) – N-MORB mixing line – линия смешения плюмовых (OIB) базальтов и нормальных базальтов СОХ. Остальные условные на рис. 1.

На диаграмме соотношений La и Sm, нормированных на верхнекоревой источник, составы пород разделяются на 2 группы: 1 – все ранние фазы тяготеют к источнику обогащённой мантии; 2 – умеренно-щелочные гранофировые граниты попадают на линию источника верхней коры.

LaUCN и Sm UCN – значения концентраций лантана и самария, нормализованные на верхне-коревые значения по [9]. Остальные условные обозначения см. на рис. 1.

Приведенные данные показывают, что массивы Аюдагского ареала в той, или иной степени расслоены и формировались по сложному сценарию. Ранние фазы габброидов, особенно меланократовые габбро, тяготеющие к наиболее глубоким горизонтам массивов, содержат повышенные количества титаномагнетита и хромшпинелидов, и по сути своей могут быть отнесены к рудным меланогаббро, в которых содержание диоксида титана может достигать 16–18%. Такие меланогаббро близки по содержанию диоксида титана к рудным пироксенитам и габброидам расслоенного Харловского массива на Алтае [1, 2]. Для меланогаббро характерны высокие концентрации типичных мантийных элементов скандия, хрома, ванадия, никеля (таблица).

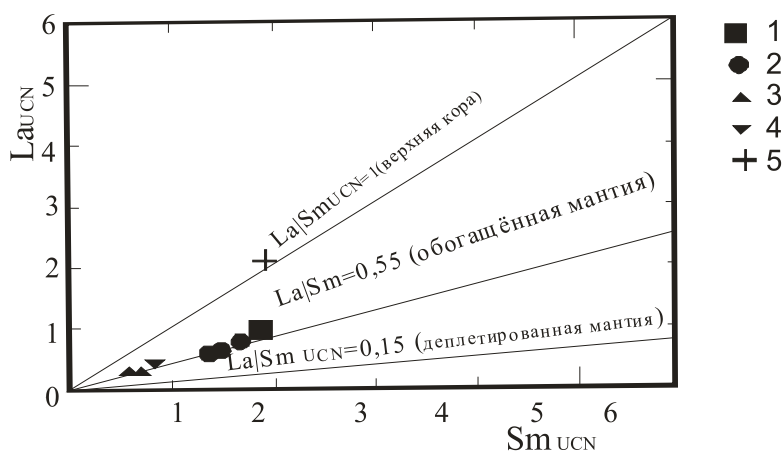


Рис. 3. Диаграмма $LaUCN - Sm UCN$ по [11, 12] для пород Аюдагского ареала

Ранние фазы Аюдагского ареала формировались из обогащённой мантии и показывают наличие плюмового источника. Ранее формирование этих пород связывалось с островодужной обстановкой. Правильнее нужно говорить о сложной геодинамической обстановке формирования пород Аюдагского ареала, в которой остро-

водужный механизм генерации, сочетался с функционированием мантийного плюма. На диаграмме соотношений $K_2O - MgO$ фигуративные точки составов ранних фаз массивов попадают на тренд плавления шпинелевого перидотита с небольшой степенью частичного плавления (не более 0,6%) (рис. 4). Состав же заключительных

умеренно-щелочных гранофировых гранитов тяготеют к тренду низкой степени частичного плавления (0,2%) гранатового перидотита (рис. 4).

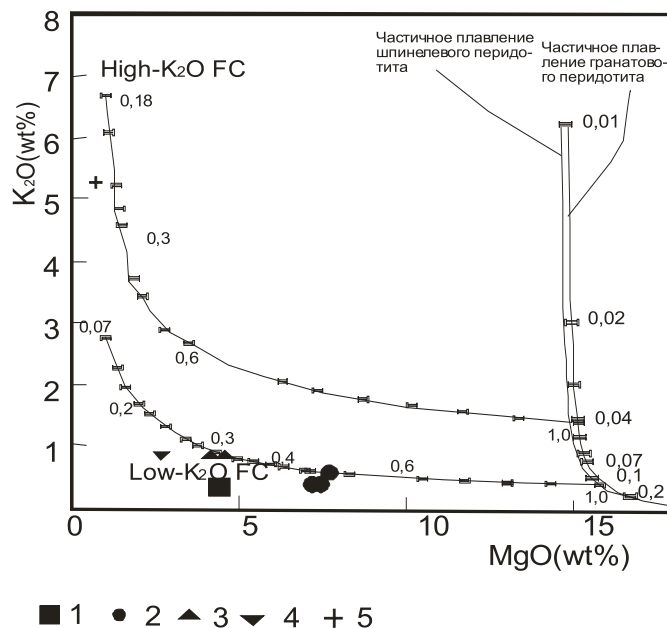


Рис. 4. Диаграмма $K_2O - MgO$ по [12] для пород Аюдагского ареала. Вертикальные линии частичного плавления перидотитов с использованием составов мантийных ксенолитов по [6]. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Положение фигуративных точек составов пород на диаграмме $La/Nb - Ba/Nb$ показывает значительный разброс (рис. 5).

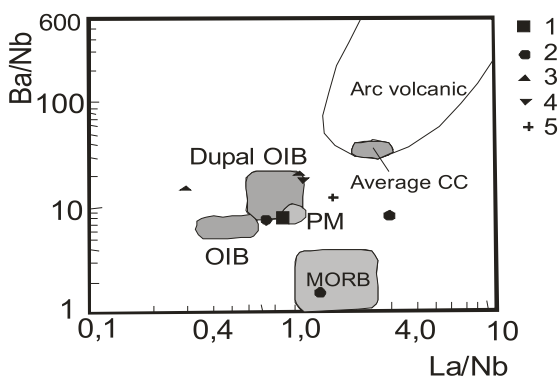


Рис. 5. Диаграмма $Ba/Nb - La/Nb$ по [10] для пород Аюдагского ареала. Данные по примитивной мантии (PM) по Sun, McDonough [14]; средней континентальной коры (CC) по [7, 9]; данные по OIB, MORB, Dupal OIB по [14]; данные по составам вулканических дуг по [10, 11]. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Основная масса составов пород тяготеет к Дюпаль аномалии плюмовых щелочных базальтов COX, связанных с мантийной горячей точкой в Южной Атлантике. Один анализ двупироксеновых долеритов попал в область MORB.

Заключение

Таким образом, нашими исследованиями впервые установлены меланократовые габброиды и линзовидные рудные меланогаббро с высоким содержанием диоксида титана и повышенными концентрациями ванадия, скандия, хрома, никеля, кобальта. Это указывает на перспективы глубоких горизонтов массивов Аюдагского ареала на титановое оруденение.

Породы ареала относятся к пералюминиевому типу магматитов и формировались за счёт плавления субстрата обогащённой мантии по сложному сценарию, в котором прослеживается сочетание островодужной обстановки и плюмовой. Островодужная обстановка могла быть вызванной функционированием мантийного плюма. Отмечаются признаки близости к Дюпаль аномалии базальтов океанических островов. Генерация ранних фаз массивов происходила в результате небольшой степени частичного плавления шпинелевого перидотита.

Список литературы

1. Гусев А.И. Минерагеня и полезные ископаемые Алтайского края. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2011. – 365 с.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Петрология расслоенного Харловского массива в Горном Алтае // Геология и минеральные ресурсы Сибири, 2013. – № 2 (14). С. 70–76.

3. Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Ст. 1 // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 1990. – Т. 65. – Вып. 4. – С. 119–134.
4. Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Статья 2 // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение геологии, 1990. – Т. 65. – Вып. 6. – С. 102–112.
5. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1989. – V. 53. – P. 197–214.
6. Beard B.L., Glazner A.F. Trace elements and Sr and Nd isotopic composition of mantle xenoliths from the Big Pine volcanic field, California // *Journal of Geophysical Research*, 1995. – V. 100. – P. 4169–4179.
7. Jahn B.M., Zhang Z.Q. Archean granulite gneisses from eastern Hebei province, China: rare earth geochemistry and tectonic implication // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 1984. – V. 85. – P. 224–243.
8. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geological Soc. America Bulletin*, 1989. – V. 101. – P. 635–643.
9. McLennan S.M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2001. – V. 2. – Paper 2000GC000109. – 24 p.
10. Pang K.-N., Zhou M.-F. et al. Erratum to «Flood basalt-related Fe-Ti oxide deposits in the Emeishan large igneous province, SW Chin» // *Lithos*, 2013. – V. 119. – P. 123–136.
11. Pearce J.F. A user's guide to basalt discrimination diagrams // *Geological Ass. Of Canada Short Course Notes*, 1996. – V. 12. – P. 79–113.
12. Putirka K., Busby C.J. The tectonic significance of high-K₂O volcanism in the Sierra Nevada, California // *Geology*, 2007. – V. 35. – P. 923–926.
13. Saccani E., Arimzadeh Z., Dilek Y., Jahaniri A. Geochronology and petrology of the Early Carboniferous Misho Mafic Complex (NW Iran), and implications for the melt evolution of Paleo-Tethyan rifting in Western Cimmeria // *Lithos*, 2013. – V. 175–176. – P. 264–278.
14. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implication and processes | *Magmatism in the Ocean Basins* // *Geological Society of London. Special Publication*. – 1989. – № 42. – P. 313–345.
15. Taylor S.R., McLennan S.M. *The continental crust: composition and evolution*. – Boston: Blackwell Scientific Publications. – 1985. – P. 209–230.