

Анатолий Георгиевич Гурбанов

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), ведущий научный сотрудник, г. Москва; Владикавказский научный центр Российской академии наук, Комплексный научно-исследовательский отдел, ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, Россия, PCO-Алания, e-mail: ag.gurbanov@yandex.ru

Виктор Магалимович Газеев

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), научный сотрудник, г. Москва; Владикавказский научный центр Российской академии наук, Комплексный научно-исследовательский отдел, старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, Россия, PCO-Алания, e-mail: gazeev@igem.ru

Александр Яковлевич Докучаев

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), ведущий научный сотрудник, заведующий Рудно-петрографическим сектором-музеем, кандидат геолого-минералогических наук, Россия, Москва, e-mail: alexandre-dokuchayev@yandex.ru

Алексей Борисович Лексин

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), лаборатория «Геоинформатика», специалист, Россия, Москва.

Ольга Александровна Гурбанова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, ассистент кафедры минералогии и кристаллохимии, кандидат химических наук, Россия, Москва.

Результаты геохимического изучения порообразующих кварцев из вулкаников Эльбрусского вулканического центра и их интерпретация

Аннотация. В статье приведена геохимическая характеристика порообразующего кварца (101 проба) из вулканических пород позднего плейстоцена, а также докальдерной, кальдерной и посткальдерной стадий в истории развития Эльбрусского вулканического центра. Установлено, что от пород докальдерной стадии к посткальдерной в кварце обнаруживается общее снижение содержаний элементов, изоморфно замещающих кремний в кремнекислородных тетраэдрах. На этом фоне выделяются кварцы докальдерной стадии с пониженными содержаниями титана.

Литофильные элементы с большим размером ионного радиуса, такие как La, Ce, Mo, Th и Sc, обнаруживают взаимно подобные тенденции распределения в кварцах. Показано, что кварцы из лав и лавабрекчий позднего этапа посткальдерной стадии характеризуются относительным накоплением практически всех неизоморфных элементов-примесей, что можно объяснить постмагматической гидротермальной активностью. При этом наблюдаются противоположные тенденции накопления в кварцах As и Ag, с одной стороны, и Sb – с другой, на докальдерной стадии развития; As и Sb, с одной стороны, и Ag – с другой, на посткальдерной стадии развития. Тенденция к накоплению в кварцах цинка от пород докальдерной стадии к посткальдерной является наиболее отчетливой. Полученные прецизионные данные о геохимических особенностях кварцев из разновозрастных пород ЭВЦ подтвердили правомерность выделения вышеуказанных стадий и этапов в его вулканической активности и двух разновозрастных групп интимбригов, выделенных по геологическим, изотопным данным и по результатам ЭПР-датирования. Доказано, что порообразующие кварцы из субвулканических тел дацитового состава слагающих Кюкюртлинскую и Ирикскую рудно-магматические системы (РМС) обладают резко повышенными концентрациями Zn, Mo, Th, Ag, As, Ce, La и что эти данные могут использоваться как индикаторы потенциальной рудоносности РМС на конкретные металлы.

Ключевые слова: Эльбрусский вулканический центр, геохимические особенности кварца, рудно-магматическая система.

Anatoly G. Gurbanov

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Leading Researcher, Russia, Moscow; Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Integrated Research Department, Leading Researcher, PhD, Russia, Vladikavkaz, e-mail: ag.gurbanov@yandex.ru

Victor M. Gazeev

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Senior, Russia, Moscow; Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Integrated Research Department, Senior Researcher, PhD, Russia, Vladikavkaz, e-mail: gazeev@igem.ru

Alexander Y. Dokuchaev

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Leading Researcher, Head of the Ore-Petrographic Sector-Museum, PhD, Russia, Moscow, e-mail: alexandre-dokuchayev@yandex.ru

Aleksey B. Leksin

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Lead Programmer, Russia, Moscow, e-mail: lexin@igem.ru

Olga A. Gurbanova

Lomonosov Moscow State University M.V. Lomonosov, Faculty of Geology, Assistant of the Department of Mineralogy and Crystal Chemistry, PhD, Russia, Moscow, e-mail: gur_o@mail.ru

Results of geochemical study of rock-forming quartz from volcanics of the Elbrus volcanic center and their interpretation

Abstract. The article presents the geochemical characteristics of rock-forming quartz (101 samples) from volcanic rocks of late Pleistocene, and of the pre-caldera, caldera and post-caldera stages in the history of the development of the Elbrus volcanic center. It has been established that from the rocks of the pre-caldera stage to the post-caldera one, in quartz, a general decrease in the contents of elements isomorphically replacing silicon in silicon-oxygen tetrahedra is found. Against this background, quartz of the pre-caldera stage with low titanium contents stand out.

Lithophilic elements with large ionic radius, such as La, Ce, Mo, Th, and Sc, show mutually similar distribution trends in quartz. It is shown that quartz from lavas and lava breccias of the late stage of the post-caldera stage is characterized by the relative accumulation of almost all non-isomorphic trace elements, which can be explained by post-magmatic hydrothermal activity. At the same time, opposite trends are observed in the accumulation of As and Ag, on the one hand, and Sb, on the other hand, in quartz at the pre-caldera stage of development; As and Sb, on the one hand, and Ag, on the other hand, at the post-caldera stage of development. Accumulation trend in quartz zinc from pre-caldera to post-caldera rocks is the most distinct. The obtained precision data on the geochemical features of quartz from uneven-aged EVC rocks confirmed the legitimacy of distinguishing the above stages and stages of its volcanic activity, and two different age groups of ignimbrites identified from geological, isotopic data, and from the results of EPR dating. Proven that rock-forming quartz from subvolcanic bodies of dacitic composition that make up the Kyukyurtly and Irikore-magmatic systems (OMS) have sharply elevated concentrations of Zn, Mo, Th, Ag, As, Ce, and La, and that these data can be used as indicators of the potential ore content of the OMS for specific metals.

Keywords: Elbrus volcanic center, geochemical features of quartz, ore-magmatic system.

ВВЕДЕНИЕ

Учитывая опыт и результаты геохимического изучения породообразующего кварца из пород разновозрастных магматических формаций Большого Кавказа (в том числе и сложно дифференцированных) [5, 6, 7, 8, 15], мы решили проверить:

1) Будут ли различаться между собой по геохимическим характеристикам породообразующие кварцы из пород докальдерной, кальдерной (с ранним и поздними этапами) и посткальдерной (с ранним и поздними этапами) стадий в истории развития Эльбрусского вулканического центра (ЭВЦ). Этапы и стадии были выделены по геологическим, изотопным (U-Pb SHRIMP [18], K-Ar [16, 17], $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ [3]) и ЭПР данным [2, 11]. Соответственно, мы решили проверить, будут ли выделяться эти стадии и этапы и по геохимическим особенностям породообразующего кварца.

2) Будут ли наблюдаться повышенные концентрации ряда рудных элементов в породообразующих кварцах из пород, слагающих выделенные нами [1, 4] Ирикскую и Кюкюртлинскую рудно-магматические системы (РМС).

3) Будут ли значимо различаться по величинам концентраций ряда элементов породообразующие кварцы из двух разновозрастных групп игнимбитов, выделенных по геологическим и изотопным данным.

Для ответа на эти три вопроса в редкометальном отделении ИГЕМ РАН аналитиком А.Л. Керзиным был проведен инструментальный нейтронно-активационный анализ всех выделенных проб породообразующего кварца (101 проба) из отобранных в разные годы минералогических проб.

МЕТОДИКИ ОТБОРА, ПОДГОТОВКИ И АНАЛИЗА ПРОБ КВАРЦА

В процессе полевых работ из пород, характеризующих все выделяемые нами стадии и этапы в истории развития ЭВЦ, была отобрана 101 представительная проба пород (рис. 1) весом 15–20 кг каждая. Пробы отбирались из лавовых потоков, игнимбитовых (опробованы две разновозрастные группы), лавобрекчиевых и туфовых горизонтов, не затронутых процессами гидротермально-метасоматических изменений. Затем каждая проба дробилась, расситовывалась на классы по крупности зерен: $-0.5 + 0.25$ мм и $-0.25 + 0.1$ мм. После этого каждая проба разделялась на концентрационном столе на легкую и тяжелую фракции. Из легкой фракции выделялись мономинеральные фракции кварца с чистотой до 95–97 % с использованием методов флотации и разделения в тяжелых жидкостях. Затем чистота каждой пробы (весом до 3–5 г) вручную доводилась под бинокляром до 99–100 %. В пробах породообразующего кварца определялись, методом инструментальной нейтронной активации (ИНАА), содержания ряда элементов со следующим порогом чувствительности метода (в г/т): Zr (1), Ba (1), Zn (0,3), Ce (0,4), La (0,3), Nd (0,3), Cr (0,1), Mo (0,1), Th (0,1), Ge (0,02), Cs (0,02), Ag (0,01), As (0,01), Sb (0,01), Sm (0,01), Hf (0,01), U (0,01), Co (0,01), Sc (0,01), Yb (0,008), Ta (0,003), Tb (0,002), Lu (0,001), Eu (0,001), Au (0,001). Анализ проводился из навески пробы в 0,1 г, которая облучалась нейтронным потоком 2×10^{13} нейтрон/см²/с в течение 10 часов. При расшифровке полученных данных использовались ВМ, ВР и другие международные эталоны.

Таблица 1

Содержание (в г/г) рудных, редких и редкоземельных элементов в породообразующем кварце из разновозрастных лавовых потоков и пирокластических горизонтах в пределах Эльбурского вулканического центра

№ обр.	Описание образца	Код	Al	Ti	Ge	Sc	Zn	As	Mo	Ag	Sb	La	Ce	Eu	Th
	Позднеплейстоценовые игнимбриты														
170	Тузлук, низы игнимбритов	82	519	99	0,259	0,05	1,4	0,06	0,21	0,02	0,018	0,79	2,42	0,001	0,93
171	Тузлук, верхи игнимбритов	82	579	111	0,303	0,08	3,6	0,02	0,38	0,13	0,017	1,17	2,76	0,060	0,77
69/99	Аэродром, нижняя толща игнимбритов	84	550	93	0,231	0,14	2,0	0,61	1,20	0,10	0,04	0,79	1,75	0,011	3,35
70/99	Аэродром То же	84	1313	98	0,215	0,12	2,0	0,61	0,90	0	0,05	1,04	2,25	0,045	1,21
352	То же	84	598	140	0,231	0,08	8,5	0,17	0,38	0,06	0,033	0,95	2,87	0,004	0,19
351	То же	84	508	109	0,258	0,170	4,9	0,35	1,00	0,04	0,049	0,64	2,32	0,007	0,79
	Среднее по позднеплейстоценовым игнимбритам		678	108	0,250	0,11	3,73	0,108	0,68	0,07	0,035	0,897	2,39	0,021	1,21
	Эльбурский вулканический центр. Докальдерная стадия														
50-7/99	Тызыл, трахиандезибаза	10	570	26	0,359	0,03	1,0	0,18	1,60	0,01	0,02	0,79	2,13	0,005	0,79
2/99	Худес, трахиандезит	11				0,10	6,0	0,10	0,50	0	0,10	1,40	0,40	0,010	0,90
156	То же	11				0,09	3,3	0,02	0,21	0,04	0,013	1,69	5,18	0,006	1,49
	Среднее по породам докальдерной стадии		570	26	0,359	0,07	3,4	0,10	0,77	0,02	0,044	1,29	2,57	0,007	1,06
	Кальдерная стадия ранний этап														
79к/97	Чемарткол, игнимбриты	21	376	138	0,191	0,04	8,0	0,07	1,40	0,60	0,04	0,65	1,32	0,004	2,73
80к/97	То же	21	363	136	0,205	0,09	3,0	0,01	2,20	0	0,01	2,96	2,75	0,079	0,76
55/97	То же	21	665	173	0,244	0,07	5,0	0,01	0,29	0,03	0,01	0,76	2,37	0,012	0,57
19/99	Ирик, игнимбриты	23				0,18	13,0	0,16	1,50	0,30	0,20	1,11	1,92	0,023	0,83
59к/97	То же	24	114	104		0,20	3,0	3,80	0,70	0	0	0,70	1,70	0,010	1,00
157-1	То же (верхняя толща)	24				0,40	1,0	0,12	0,77	0,02	0,016	0,52	1,71	0,001	1,02
39/97	То же	24	355	110	0,234	0,20	2,0	1,10	0,80	0	0	0,60	1,50	0	1,70
76	Бийтик-Тебе, игнимбриты	25	629	166	0,245	0,06	5,2	0,02	0,48	0,03	0,025	0,56	1,96	0,009	0,59
30/99	То же	25	594	147	0,188	0,05	3,0	0,21	0,80	0,10	0,03	0,68	1,41	0,028	0,93

Продолжение таблицы 1

№ обр.	Описание образца	Код	Al	Ti	Ge	Sc	Zn	As	Mo	Ag	Sb	La	Ce	Eu	Th
30-1/99	То же	25	591	140	0,219	0,15	1,0	0,61	1,80	0	0,05	1,46	3,10	0,117	1,53
30-3/99	То же	25	422	116	0,084	0,12	2,0	0,36	0,90	0	0,05	2,55	5,04	0,102	0,80
50m/97	То же	25				0,20	4,0	0,40	0,40	0	0	2,20	3,90	0,22	0,70
205	То же	25	677	26	0,266	0,13	13,3	0,05	0,38	0,07	0,071	1,89	4,90	0,130	0,84
101	То же	25				0,32	7,0	3,90	1,50	0,20	0,150	2,26	4,72	0,183	1,13
353	Бирджалы-су, игнимбриты	26	568	112	0,301	0,04	2,0	0,01	0,28	0	0,015	0,94	1,70	0,003	1,47
354	То же (верхняя толща)	26	483	76	0,265	0,07	1,6	0,15	0,15	0,02	0,025	0,62	1,94	0,004	0,48
82	Кюкюртли, игнимбриты	27	580	120	0,195	0,03	2,4	0,02	0,17	0,03	0,01	0,40	1,20	0,013	0,25
82-1	То же	27	576	142	0,230	0,3	6,7	1,12	1,79	0,07	0,044	1,51	5,73	0,016	10,14
82-2	То же	27	590	131	0,175	0,02	2,4	0,01	0,22	0,06	0,001	0,57	1,46	0,056	0,26
83	То же	27	521	128	0,219	0,03	2,2	0,02	0,19	0,03	0,011	0,90	2,24	0,094	0,31
95/98	То же	27				0	2,0	3,10	0,50	0	0	0,60	3,20	0,100	0,80
85/98	То же	27				0,10	2,0	0,50	0,10	0,10	0,20	3,00	4,40	0,360	0,40
85a/98	То же	27				0	1,0	0	0,40	0	0	1,80	0,60	0,040	0,10
93/98	То же	27				0	2,0	0,10	0,20	0	0	4,70	5,80	0,660	0,30
Среднее по игнимбритам (ранний этап кальдерной стадии)			508	115	0,251	0,14	3,9	0,64	0,75	0,118	0,05	1,36	2,77	0,099	1,22
Кальдерная стадия, ранний этап. риолиты															
25/99	Уллукам, риолиты	31	481	172	0,018	0,26	6,0	0,02	2,10	0,10	0,03	2,66	4,77	0,259	1,60
25-1/99	То же	31	566	157	0,118	0,17	5,0	0,28	0,60	0	0,03	1,60	2,86	0,096	0,85
26-1/99	То же	31	448	102	0,178	0,14	4,0	0,43	1,80	0	0,03	4,58	13,15	0,082	0,68
98	То же	31	588	148	0,201	0,50	9,1	0,94	0,31	0,10	0,018	2,80	7,19	0,220	1,18
88-2	Кюкюртли, риолиты	32	577	143	0,217	0,31	0,3	0,03	0,24	0,07	0,01	0,64	2,00	0,007	0,75
86	То же	32	563	148	0,220	0,10	12,1	0,06	0,56	0,09	0,007	0,54	2,84	0,018	0,26
20-1/97	Бийтик-Тебе, туфы	33	265	93	0,150	0	19,0	0,10	0,30	0	0	0,40	0,50	0,010	0,50
30-1/97	То же	33				0,15	1,0	0,61	1,80	0	0,05	1,46	3,10	0,117	1,53
47/97	Бирджалы-су, туфы	34	202	118	0,087	0,10	6,0	0,30	0,50	0	0	0,60	1,40	0	0,90
Среднее по риолитам и туфам с серым кварцем (ранний этап кальдерной стадии)			461	135	0,149	0,19	6,9	0,31	0,91	0,04	0,019	1,70	4,20	0,090	0,92

Продолжение таблицы 1

№ обр.	Описание образца	Код	Al	Ti	Ge	Sc	Zn	As	Mo	Ag	Sb	La	Ce	Eu	Th
Кальдерная стадия поздний этап															
36/99	Бийтик-Тебе, дациты	41	371	141	0,162	0,19	6,0	0,02	2,40	0,20	0,06	3,40	6,02	0,326	0,78
78/99	То же	41	464	147	0,211	0,03	4,0	0,23	0,22	0,02	0,026	0,47	1,25	0,022	0,09
80/99	То же	41	495	155	0,193	0,02	5,4	0,03	0,23	0,03	0,003	0,33	1,05	0,008	0,14
47/99	То же	41	483	137	0,193	0,08	3,0	0,75	1,10	0	0,04	1,12	2,53	0,049	0,80
405-1	То же	41				0,05	10,2	0,05	0,37	0,07	0,106	1,76	3,95	0,113	0,65
44/99	То же	41	331	134	0,171	0,74	1,0	1,56	2,30	0	0,07	0,60	1,19	0,016	1,57
48/99	То же	41	89	21	0,032	0,18	7,0	0,02	5,50	0	0,06	11,10	15,02	1,201	2,07
79	То же	41	483	76	0,249	0,04	2,1	0,36	0,38	0,02	0,043	0,14	0,44	0,004	0,09
40/99	То же	41	330	126	0,167	0,11	9,0	0,46	0,10	0,10	0,05	4,42	6,94	0,428	1,04
41/99	То же	41	283	111	0,153	0,20	5,0	0,2	0,10	0,30	0,04	2,89	4,93	0,248	0,93
98-2	Уллукам, дациты	42	586	124	0,190	0,03	2,0	0,02	0,14	0,02	0,002	1,22	3,30	0,003	0,14
89	То же	42				0,04	2,8	0,02	0,15	0,02	0,009	0,66	1,64	0,069	0,14
22	То же	42	498	135	0,203	0,18	8,0	0,03	2,80	0,30	0,13	1,91	3,59	0,109	0,71
22т	То же	42	211	52	0,060	0,07	8,0	0,01	2,10	0	0,06	4,18	6,35	0,589	0,85
22-1	То же	42	477	150	0,200	0,13	3,0	0,93	0,60	0,20	0,16	0,82	2,04	0,032	0,56
22-1m	То же	42	176	38	0,056	0,09	6,0	0,01	0	0,10	0,11	6,73	9,57	0,941	0,92
22-2	То же	42	465	123	0,094	0,25	4,0	0,52	1,10	0,30	0,04	4,38	9,84	0,093	1,15
22-3	То же	42	208	140	0,094	0,13	4,0	0,69	0,40	0	0,13	0,97	3,18	0,017	0,79
374	Малка, дациты	43	515	150	0,198	0,03	5,4	0,03	0,27	0,04	0,003	1,87	4,69	0,065	0,28
390	То же	43				0,32	7,8	0,07	0,52	0,13	0,008	4,07	10,95	0,211	1,83
144-1	Кююртли, дациты	44	485	155	0,195	0,05	15,8	0,09	1,06	0,10	0,01	2,54	5,65	0,353	0,26
53/99	Сылтрансу, дациты	45	445	99	0,193	0,16	2,0	0,01	4,20	0,40	0,03	4,80	10,20	0,068	4,58
1137	То же	45	434	14	0,412	0,04	3,0	0,11	0,40	0,20	0,02	0,29	0,67	0,009	0,15
50/98	Бийтик-Тебе, туфы	46	371	121	0,170	0,20	4,0	0,4	0,40	0	0	2,20	3,90	0,220	0,70
131	То же	46	431	119	0,150	0,02	3,4	0,18	0,16	0,03	0,014	0,66	1,62	0,045	0,24
32	То же	46	420	120	0,100	0,28	5,0	0,74	1,00	0,10	0,04	3,02	5,26	0,287	0,87
Среднее по лавам, лавобрекчиям дацитового состава и туфам с серым кварцем (поздний этап кальдерной стадии)			394	113	0,167	0,14	5,3	0,29	1,08	0,10	0,05	2,56	4,84	0,213	0,86

Продолжение таблицы 1

№ обр.	Описание образца	Код	Al	Ti	Ge	Sc	Zn	As	Mo	Ag	Sb	La	Ce	Eu	Th
	Кальдерная стадия поздний этап, дациты субвулканические тела РМС лавы дацитового состава														
99-2	Кюкюртгли, субвулк. тело	51	500	127	0,207	0,16	3,7	0,16	0,21	0,06	0,003	1,21	3,19	0,023	0,58
93	То же	51	559	118	0,192	0,15	18,2	0,07	1,22	0,41	0,009	2,16	6,37	0,097	1,97
88-3	То же	51	554	106	0,203	0,06	4,5	0,02	0,20	0,04	0,012	0,55	1,60	0,062	0,34
23/99	Уллукам, субвулк. тело	52	514	134	0,210	0,08	9,0	0,32	1,60	0,40	0,08	2,04	3,09	0,083	0,66
36-2/99	Бийтик-Тебе, субвулк. тело	53	316	115	0,169	0,55	8,0	0,02	13,40	0,20	0,06	38,79	65,91	0,407	9,29
	Среднее по субвулканическим штокам и дайкам (поздний этап кальдерной стадии)		489	120	0,196	0,20	8,7	0,12	3,33	0,22	0,033	8,95	16,03	0,134	2,57
	Посткальдерная стадия ранний этап. Лавы и лавобрекчи дацитового состава														
95/99	Уллукам, дациты, лавы	61	340	107	0,122	0,09	18,8	0,11	1,71	0,12	0,041	4,71	8,78	0,503	0,36
96-1	То же	61				0,06	23,4	1,04	0,83	0,11	0,063	0,91	2,88	0,009	0,22
386	Кизилкол, дациты, лавы	62	367	127	0,161	0,03	5,3	0,03	0,47	0,03	0,011	0,38	1,20	0,005	0,35
377	Малка, дациты, лавы	63	588	153	0,252	0,15	18,3	0,07	0,59	0,09	0,008	0,90	3,09	0,026	0,18
378	То же	63	494	152	0,217	0,09	13,4	0,06	0,50	0,08	0,037	2,26	5,27	0,130	0,72
388	То же	63	595	169	0,192	0,02	7,0	0,05	1,05	0,05	0,005	0,37	1,20	0,004	0,17
394	То же	63				0,08	7,5	0,25	0,46	0,07	0,006	1,71	5,01	0,039	0,66
395	То же	63	439	166	0,205	0,05	10,0	0,06	0,61	0,91	0,007	1,41	3,66	0,182	0,21
396	То же	63	530	127	0,209	0,24	6,2	0,46	0,24	0,07	0,024	1,30	4,02	0,028	0,61
6/99	Баксан, дациты, лавы	64				0,06	24,0	0,05	0,30	0,10	0,13	2,49	4,15	0,179	0,43
348	То же	64				0,06	22,3	0,07	0,59	0,10	0,022	0,62	1,81	0,022	0,31
97/98	Таш-Тюбе, трахитандезиты	65				0,10	2,0	0,2	0,30	0	0	1,20	1,50	0,020	0,5
	Среднее по лавам, лавобрекчиям дацитового состава (ранний этап посткальдерной стадии)		479	143	0,194	0,09	13,2	0,20	0,64	0,14	0,030	1,52	3,55	0,096	0,39

Продолжение таблицы 1

№ обр.	Описание образца	Код	Al	Ti	Ge	Sc	Zn	As	Mo	Ag	Sb	La	Ce	Eu	Th
	Посткальдерная стадия поздний этап, лавы и лавоборкчи дацитового состава														
399	Малка, дациты	71	538	181	230	0,09	14,2	0,05	0,46	0,09	0,006	3,64	8,18	0,262	0,90
3/99	Азау, дациты	72	513	158	214	0,01	7,0	0,33	0,50	0	0,03	0,33	0,64	0,009	0,02
350	То же	72	516	156	216	0,07	41,1	0,13	1,11	0,17	0,041	0,87	4,68	0,048	0,17
1Э	Вершина Эльбруса, дациты	73	530	173	225	0,58	9,0	0,02	3,30	0,10	0,08	12,34	15,34	1,124	2,01
2Э	То же	73	510	161	203	0,67	9,0	0,02	2,40	0,10	0,12	12,50	16,06	1,137	1,88
9/99	То же	73	519	179	220	0,58	18,0	3,49	9,70	0,10	0,28	23,07	35,30	1,261	11,20
	Среднее по лавам, лавоборкчим дацитового состава (поздний этап посткальдерной стадии)		521	168	0.218	0.33	16,4	0,78	2,91	0,09	0,09	8,79	13,37	0,640	2,70

Примечание: 1. Геологическая характеристика образцов приведена в тексте и в [1]; 2. Незаполненные графы – не определялись.

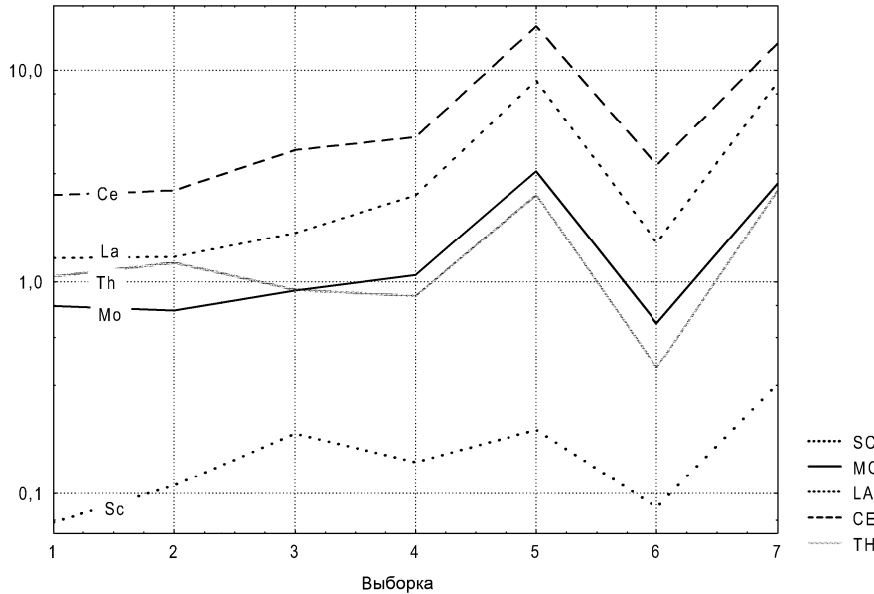


Рис. 3. Средние содержания (г/т) скандия, молибдена, лантана, церия и тория в кварцах из вулканитов ЭВЦ

Литофильные элементы с большим размером ионного радиуса, такие как La, Ce, Mo, Th, а также Sc, обнаруживают взаимно подобные тенденции распределения в кварцах (рис. 4). Особенно отчетливо это проявлено для пород, начиная с лав позднего этапа кальдерной стадии. Также обращают на себя внимание относительно резкие максимумы содержаний для штоков и даек дацитов (выборка 5) позднего этапа кальдерной стадии и минимумы содержаний для лав посткальдерной стадии, лавобрекчий дацитового состава раннего этапа посткальдерной стадии (выборка 6). Вероятно, это может быть объяснено резкой сменой флюидного режима при их становлении (автометасоматоз).

Аналогичная картина устанавливается и для европия (рис. 4), но без максимума для поздних штоков и даек дацитов (выборка 5) позднего этапа кальдерной стадии.

Из рис. 3 и 4 видно, что кварцы из лав и лавобрекчий позднего этапа посткальдерной стадии характеризуются относительным накоплением практически всех неизоморфных элементов-примесей, что можно объяснить постмагматической гидротермальной активностью. При этом обращают на себя внимание противоположные тенденции накопления в кварцах As и Ag, с одной стороны, и Sb – с другой, на докальдерной стадии развития;

As и Sb, с одной стороны, и Ag – с другой, на посткальдерной стадии развития. Тенденция к накоплению в кварцах цинка от пород докальдерной стадии к посткальдерной является наиболее отчетливой (рис. 4).

Таким образом, в породообразующих кварцах, начиная с докальдерной стадии развития ЭВЦ к посткальдерной стадии, для всех неизоморфных элементов-примесей, в противоположность изоморфным (Al, Ti, Ge), устанавливается общая тенденция к увеличению их концентраций. Это, по-видимому, может указывать на возрастание дефектности кристаллов кварцев из поздних лавовых потоков, в сравнении с ранними.

По содержаниям (в г/т) структурных примесей (Al, Ti,

Ge) породообразующие кварцы из вулканитов, характеризующих разновозрастные этапы выделяемых стадий активности в пределах Эльбрусского вулканического центра, довольно четко отличаются друг от друга. Так, для кварцев из пород докальдерной стадии среднearифметические (по 5 пробам) содержания (в г/т) составили: Al = 570, Ti = 26, Ge = 0,36. Кварцы из пород раннего этапа кальдерной стадии характеризуются (среднее из 34 проб) содержаниями Al = 486, Ti = 125, Ge = 0,19, а из пород позднего этапа (среднее из 30 проб): Al = 441, Ti = 116,5, Ge = 0,19. Кварцам из пород раннего этапа посткальдерной стадии присущи содержания

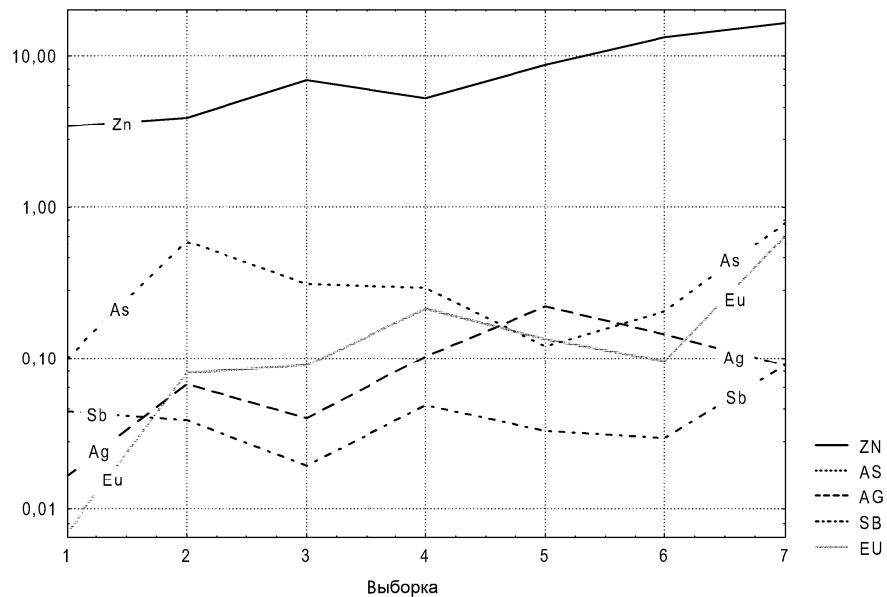


Рис. 4. Средние содержания (г/т) цинка, мышьяка, серебра, сурьмы и европия в кварцах из вулканитов ЭВЦ

(среднее из 13 проб) Al = 479, Ti = 143, Ge = 0,19, а для кварцев из пород позднего (голоценового) этапа посткальдерной стадии (среднее из 6 проб): Al = 521, Ti = 168, Ge = 0,218.

Следовательно, данные о геохимических особенностях кварцев из разновозрастных пород ЭВЦ убедительно подтверждают правомерность выделения вышеуказанных стадий и этапов в вулканической активности, выявленных как по геологическим данным, так и по результатам изотопного и ЭПР-датирования.

До начала наших исследований по рудно-магматическим системам (РМС) отсутствовали данные о наличии даже проявлений какой-либо рудной минерализации в связи с вулканическими породами Эльбруса. Имелось только упоминание о находках самородной серы в вулканиках в районе ледника и «стены» Кюкюртлю [9]. Однако известно, что с миоцен-четвертичными вулканами центрального типа часто ассоциируют рудопроявления и месторождения (Au, Ag, Sn, Cu, Mo, Pb и Hg) вулканогенного генезиса [12; 13; 14; 19; 20; 21; 22, 23]. Обобщенная вертикальная рудная зональность (сверху вниз по разрезу) на таких месторождениях имеет следующий вид: 1 – самородная сера; 2 – сурьмяно-мышьяково-ртутная; 3 – золото-серебряная; 4 – полиметаллическая; 5 – медно-молибденовая минерализации [10]. В связи с вышеизложенным приводим краткие описания выделенных РМС [1, 4] в пределах ЭВЦ.

Кюкюртлинская РМС расположена в Ю-З части вулканической постройки Эльбруса. В ее строении участвуют вулканики раннего и позднего этапов кальдерной стадии, прорванные дацитовой экстрюзией в жерле вулкана Кюкюртлю (праЭльбрус), с которой пространственно ассоциируют поля развития площадной (монтмориллонит + карбонат + гематит + гетит ± пирит) и локальной (галлуазит + каолинит + халцедоновидный кварц + карбонат + пирит + марказит + гематит ± натрояррозит) аргиллизации. Участок локальной аргиллизации каолинит-галлуазитового типа расположен в центральной части «стены» экстрюзии Кюкюртлю и ориентирован вдоль тектонического нарушения ССВ простирания, к которому приурочены и вторичные кварциты. В пределах РМС выявлены геохимические аномалии As, Zn и Pb, в 5 и более раз превышающие кларки для этих элементов в кислых породах. Аномалия As площадная (вариации содержаний от 15 до 322 г/т) и выходит за границы экстрюзии. Аномалии Pb и Zn более локальны, приурочены ко вторичным кварцитам. Содержания Zn варьируют от 100 до 497 г/т, Pb – от 2–3 до 378 г/т. Установлены повышенные (до 2,8 г/т) содержания Au в пиритизированных зонах. Рудные минералы в экстрюзии и зонах вторичных изменений представлены ильменитом, магнетитом, рутилом, гематитом, пиритом, марказитом, пирротинном и редко халькопиритом, сфалеритом и галенитом.

Ирикская РМС расположена в восточной части

вулканической постройки Эльбруса в районе перевала Ирик-чат. В ее строении участвуют породы вулканического цоколя и игнимбриты раннего этапа кальдерной стадии, прорванные мелкими дайками и апофизами фельзит-порфиров риодацитового и дацитового составов с вкрапленностью пирита. Большая часть РМС перекрыта ледником. На породе наложены процессы аргиллизации, осветления и выщелачивания. В породообразующем кварце из даек риолитового состава установлены повышенные концентрации (в г/т) Zn = 13, Mo = 1.5, La = 1.11, Ce = 2.37.

При рассмотрении вопроса о том, будут ли наблюдаться повышенные концентрации ряда рудных элементов в породообразующих кварцах из штоков и даек дацитового состава позднего этапа кальдерной стадии, слагающих выделенные [1, 4] Ирикскую и Кюкюртлинскую рудно-магматические системы, была выявлена важная закономерность. Она заключается в том, что, как и ожидалось, в породообразующем кварце из субвулканических тел дацитового состава, слагающих Ирикскую и Кюкюртлинскую РМС, установлены максимальные величины (среднее из 5) концентраций (в г/т): Zn = 8.7; Mo = 3.33; Ag = 0.22; La = 8.95; Ce = 16.03; Th = 2.57 и повышенные концентрации As = 0.12 и Sb = 0.033 (таблица 1). Следовательно, породообразующие кварцы из субвулканических тел дацитового состава, слагающих РМС, обладают резко повышенными концентрациями Zn, Mo, Th, Ag, As, Ce и La, и эти данные могут использоваться как индикаторы потенциальной рудоносности РМС на конкретные металлы.

Кроме того, выявлена еще одна особенность состава породообразующего кварца в игнимбриках. Было установлено, что кварцы из игнимбритов раннего этапа кальдерной стадии характеризуются повышенными концентрациями (в г/т) Ti = 115, Sc = 0.14, Zn = 3.9, As = 0.64, Mo = 0.75, Ag = 0.11, Sb = 0.05, La = 1.36, Ce = 2.77, Eu = 0.099 и пониженной – Al = 508, по сравнению с таковыми в кварце из более древних позднеплейстоценовых игнимбритов, не связанных с эволюцией ЭВЦ – Ti = 108, Sc = 0.11, Zn = 3.73, As = 0.108, Mo = 0.68, Ag = 0.07, Sb = 0.035, La = 0.89, Ce = 2.39, Eu = 0.021 и Al = 678.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги проведенным исследованиям, можно отметить следующее:

1. Впервые получены количественным методом (ИНАА) данные о геохимических особенностях породообразующих кварцев из разновозрастных пород ЭВЦ. Они убедительно подтвердили правомерность выделения вышеуказанных стадий и этапов в истории его вулканической активности, выделенных по геологическим, изотопным данным и по результатам ЭПР-датирования [11; 2; 18; 16, 17].

2. На примере Кюкюртлинской и Ирикской РМС, выделенных в пределах ЭВЦ, установлено, что по-

родообразующие кварцы из субвулканических тел дацитового состава слагающих эти РМС, обладают резко повышенными концентрациями Zn, Mo, Th, Ag, As, Se, La и что эти данные могут являться индикаторами для оценки потенциальной рудоносности РМС на конкретные металлы.

3. По геохимическим особенностям породообразующих кварцев (выявлены две группы со значимыми различиями в содержании Ti, Sc, Zn, As, Mo, Ag, Sb, La, Se, Eu) из игнимбритов, слагающих отдельные поля в пределах Эльбрусского вулкани-

ческого района, подтверждена правомерность выделенных по геологическим и изотопным данным двух разновозрастных групп игнимбритов. Широко распространенные игнимбриты отнесены к раннему этапу кальдерной стадии развития ЭВЦ (ранний неоплейстоцен), а вторая малочисленная группа (гора Тузлук и нижняя толща игнимбритов, залегающая ниже останца моренных отложений в районе урочища «Аэродром») отнесена к позднеплейстоценовым игнимбритам, не связанным с эволюцией ЭВЦ.

Работа выполнена в рамках Базовой темы Лаборатории петрографии ИГЕМ РАН «Петрология и минерагенез магматизма конвергентных и внутриплитных обстановок: история формирования крупных континентальных блоков» Регистрационный № ЕГИСУ НИОКТР 121041500222-4; и при финансовой поддержке НИОКТР КНИО ВНЦ РАН (регистрационный № АААА-А19-119040190054-8).

ЛИТЕРАТУРА

- Газеев В.М., Докучаев А.Я., Гурбанов А.Г., Сысоев А.Н. Раннеплейстоценовые (Q1) рудно-магматические системы Эльбрусского вулканического центра (Северный Кавказ) // Тез. докл. на XIII науч. чтениях пам. проф. И.Ф. Трусовой. – М.: МГГА, 2003.
- Гурбанов А.Г., Коцуг Д.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Вяткин С.В., Докучаев А.Я. Эльбрусский вулканический центр: новые возможности ЭПР для определения возраста пород // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2022. № 3. С. 61–69.
- Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Гурбанова О.А. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования субвулканического тела в жерле вулкана Кюкюртли (Эльбрусский вулканический центр) // Вестник ВНЦ РАН. 2021. Т.21. № 1. С. 51–60.
- Гурбанов А.Г., Богатииков О.А., Докучаев А.Я., Газеев В.М., Абрамов С.С., Грознова Е.О., Шевченко А.В. Проявление рудных гидротермально-метасоматических процессов в районе Эльбрусского вулканического центра (Северный Кавказ, Россия) // Геология рудных месторождений, М., 2008. Т.50. №3. С. 225–245.
- Гурбанов А.Г., Чернуха Ф.П., Коцуг Д.Г., Курасова С.П., Федющенко С.В. ЭПР спектроскопия и геохимия породообразующего кварца из пород разновозрастных магматических формаций Большого Кавказа как индикатор наложенных процессов // Геохимия. 1999. № 6. С. 589–604.
- Гурбанов А.Г., Бершов Л.В., Сперанский А.В., Ляхович Т.Т., Богина М.М., Польш И., Газис К. Геохимия и ЭПР породообразующего кварца из глубинных частей Эльджуртинского гранитного массива // Геохимия. 1994. №8–9. С. 1239–1253.
- Гурбанов А.Г., Ляхович Т.Т., Карташова Л.Ф. и др. Редкие и рудные элементы в кварце из пород разновозрастных магматических формаций и метаморфических образований Большого Кавказа // В Сб. Особенности породообразующих минералов магматических пород (ред. В.П. Петров). – М.: Наука. 1986. С. 84–101.
- Курасова С.Л., Боев А.Г., Гурбанов А.Г., Коцуг Д.Г., Федющенко С.В., Чернуха Ф.П. Структурная примесь Al в кварце палеозойских гранитоидов Большого Кавказа // Вестник МГУ. Серия 4 Геология. 1997. № 1. С. 32–40.
- Короновский Н.В. Геологическое строение и история развития вулкана Эльбрус // Оледенение Эльбруса. – М.: МГУ, 1968. С. 15–74.
- Мархинин Е.К. Вулканизм. – М.: Недра, 1985. 285 с.
- Новейший и современный вулканизм на территории России. (Отв. ред. Н.П. Лаверов. Авторский коллектив: Н.П. Лаверов, Н.Л. Добрецов, О.А. Богатииков, В.Г. Бондур, А.Г. Гурбанов, В.И. Коваленко и др.). – М.: Наука, 2005. 604 с.
- Рудич К.Н. Субвулканические образования и их рудоносность // ВВВсес. металлогенит. совещ. Владивосток, 1971. С. 46–47.
- Синяков В.И. Основы теории рудогенеза. – Л.: Недра, 1987. 188 с.
- Таусон Л.В., Гундобин Г.М., Зорина Л.Д. Геохимические поля рудно-магматических систем. – Новосибирск: Наука, 1989.
- Ставров О.Д., Моисеев Б.М., Раков Л.Т. Исследование зависимости между концентрациями алюминиевых центров и содержанием в природных кварцах щелочных элементов // Геохимия. 1978. № 3. С. 333–339.
- Чернышев И.В., Бубнов С.Н., Лебедев В.А. и др. Два этапа эксплозивного вулканизма Приэльбрусья: геохронология, петрохимические и изотопно-геохимические характеристики вулканитов и их роль в неоген-четвертичной истории Большого Кавказа // Стратиграфия, геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 1. С.100–130.
- Чернышев И.В., Лебедев В.А., Бубнов С.Н. и др. Плиоценовые игнимбриты Приэльбрусья и их место в истории неоген-четвертичного вулканизма Большого Кавказа (изотопно-геохимические данные) // Доклады РАН. 2011. Т. 436. № 2. С. 247–252.
- Gurbanov A.G., Lowenstern J.B., Bogatnikov O.A. and Lipman P.W. Pleistocene and Holocene eruptive history of Elbrus Volcano, a hazardous postcaldera stratocone in southern Russia / General Assembly of IAVCEI in Pucon, Chile (14–16 November 2004).
- Muller D., Kaminski K., Uhlir S., et al. The transition from porphyry- to epithermal-style gold mineralization at Ladolam, Lihir Island, Papua New Guinea: a reconnaissance study // Mineralium Deposita. 2002. V. 37. P. 61–74.
- Sillitoe R.H. Copper deposits and Andean evolution // Earth Sci. Circum-Pacific Council Energy Mineral Resources. 1990. V. 11. Chap. 22. P. 285–311.
- Sillitoe R.H., Baker E.M., Brook W. Gold deposits and hydrothermal eruption breccias associated with a Maar volcano at Wau, Papua New Guinea // Econom. Geol. 1984. V. 79. N 4. P. 638–655.
- Vila T., Sillitoe R.H. Gold-rich porphyry systems in the Maricunga Belt, Northern Chile // Econom. Geol. 1991. V. 86. P. 1238–1260.
- Vila T., Sillitoe R.H., Betzhold J., Viteri E. The porphyry gold deposit at Marte, Northern Chile // Econom. Geol. 1992. V. 86. P. 1271–1286.

REFERENCES

1. Gazeev V.M., Dokuchaev A.Ya., Gurbanov A.G., Sy'soev A.N. *Ranneplestocenovy'e (Q1) rudno-magmaticheskie sistemy E'l'brusskogo vulkanicheskogo centra (Severny'j kavkaz) // Tez. dokl. na XIII nauch. chteniyax pam. prof. I.F. Trusovoj. – M.: MGGA, 2003.*
2. Gurbanov A.G., Koshhug D.G., Gazeev V.M., Leksin A.B., Vyatkin S.V., Dokuchaev A.Ya. *E'l'brusskij vulkanicheskij centr: novy'e vozmozhnosti E'PR dlya opredeleniya vozrasta porod // Vestnik MGU. Seriya 4. Geologiya. 2022. № 3. S. 61–69.*
3. Gurbanov A.G., Gazeev V.M., Leksin A.B., Gurbanova O.A. *Rezultaty 40Ar/39Ar datirovaniya subvulkanicheskogo tela v zherle vulkana Kyukyurtli (E'l'brusskij vulkanicheskij centr) // Vestnik VNCz RAN. 2021. T.21. № 1. S. 51–60.*
4. Gurbanov A.G., Bogatikov O.A., Dokuchaev A.Ya., Gazeev V.M., Abramov S.S., Groznova E.O., Shevchenko A.V. *Proyavlenie rudny'x gidrotermal'no-metasomaticeskix processov v rajone E'l'brusskogo vulkanicheskogo centra (Severny'j Kavkaz, Rossiya) // Geologiya rudny'x mestorozhdenij, M., 2008. T.50. №3. S. 225–245.*
5. Gurbanov A.G., Chernuxa F.P., Koshhug D.G., Kurasova S.P., Fedyushhenko S.V. *E'PR spektroskopiya i geoximiya porodoobrazuyushhego kvarca iz porod raznovozrastny'x magmaticeskix formacij Bol'shogo Kavkaza kak indikator nalozhenny'x processov // Geoximiya. 1999. № 6. S. 589–604.*
6. Gurbanov A.G., Bershov L.V., Speranskij A.V., Lyaxovich T.T., Bogina M.M., Pol' J., Gazis K. *Geoximiya i E'PR porodoobrazuyushhego kvarca iz glubiny'x chastej E'l'dzhurtinskogo granitnogo massiva // Geoximiya. 1994. №8–9. S. 1239–1253.*
7. Gurbanov A.G., Lyaxovich T.T., Kartashova L.F. i dr. *Redkie i rudny'e e'lementy' v kvarce iz porod raznovozrastny'x magmaticeskix formacij i metamorficheskix obrazovanij Bol'shogo Kavkaza // V Sb. Osobennosti porodoobrazuyushhix mineralov magmaticeskix porod (red. V.P. Petrov). – M.: Nauka. 1986. S. 84–101.*
8. Kurasova S.L., Boev A.G., Gurbanov A.G., Koshhug D.G., Fedyushhenko S.V., Chernuka F.P. *Strukturnaya primes' Al v kvarce paleozojskix granitoidov Bol'shogo Kavkaza // Vestnik MGU. Seriya 4 Geologiya. 1997. № 1. S. 32–40.*
9. Koronovskij N.V. *Geologicheskoe stroenie i istoriya razvitiya vulkana E'l'brus // Oledenie E'l'brusa. – M.: MGU, 1968. S. 15–74.*
10. Marxinin E.K. *Vulkanizm. – M.: Nedra, 1985. 285 s.*
11. *Novejshij i sovremenny'j vulkanizm na territorii Rossii. (Otv. red. N.P. Laverov. Avtorskij kolektiv: N.P. Laverov, N.L. Dobreczov, O.A. Bogatikov, V.G. Bondur, A.G. Gurbanov, V.I. Kovalenko i dr.). – M.: Nauka, 2005. 604 s.*
12. Rudich K.N. *Subvulkanicheskie obrazovaniya i ix rudosnost' // VIVses. metallogenich. soveshh. Vladivostok, 1971. S. 46–47.*
13. Sinyakov V.I. *Osnovy' teorii rudogeneza. – L.: Nedra, 1987. 188 s.*
14. Tauson L.V., Gundobin G.M., Zorina L.D. *Geoximicheskie polya rudno-magmaticeskix sistem. – Novosibirsk: Nauka, 1989.*
15. Stavrov O.D., Moiseev B.M., Rakov L.T. *Issledovanie zavisimosti mezhdru koncentraciyami alyuminiyevy'x centrov i soderzhanijem v prirodny'x kvarcax shhelochny'x e'lementov // Geoximiya. 1978. № 3. S. 333–339.*
16. Cherny'shev I.V., Bubnov S.N., Lebedev V.A. i dr. *Dva e'tapa e'ksplozivnogo vulkanizma Prie'l'brus'ya: geoxronologiya, petroximicheskie i izotopno-geoximicheskie xarakteristiki vulkanitov i ix rol' v neogen-chetvertichnoj istorii Bol'shogo Kavkaza // Stratigrafiya, geologicheskayakorreljaciya. 2014. T. 22. № 1. S.100–130.*
17. Cherny'shev I.V., Lebedev V.A., Bubnov S.N. i dr. *Pliocenovy'e ignimbrity'Prie'l'brus'ya i ix mesto v istorii neogen-chetvertichnogo vulkanizma Bol'shogo Kavkaza (izotopno-geoxronologicheskie danny'e) // Doklady'RAN. 2011. T. 436. № 2. S. 247–252.*
18. Gurbanov A.G., Lowenstern J.B., Bogatikov O.A. and Lipman P.W. *Pleistocene and Holocene eruptive history of Elbrus Volcano, a hazardous postcaldera stratocone in southern Russia / General Assembly of IAVCEI in Pucon, Chile (14–16 November 2004).*
19. Muller D., Kaminski K., Uhlig S., et al. *The transition from porphyry- to epithermal-style gold mineralization at Ladolam, Lihir Island, Papua New Guinea: a reconnaissance study // MineraliumDeposita. 2002. V. 37. P. 61–74.*
20. Sillitoe R.H. *Copper deposits and Andean evolution // Earth Sci. Circum-Pacific Council Energy Mineral Resources. 1990. V. 11. Chap. 22. P. 285–311.*
21. Sillitoe R.H., Baker E.M., Brook W. *Gold deposits and hydrothermal eruption breccias associated with a Maar volcano at Wau, Papua New Guinea // Econom. Geol. 1984. V. 79. N 4. P. 638–655.*
22. Vila T., Sillitoe R.H. *Gold-rich porphyry systems in the Maricunga Belt, Northern Chile // Econom. Geol. 1991. V. 86. P. 1238–1260.*
23. Vila T., Sillitoe R.H., Betzhold J., Viteri E. *The porphyry gold deposit at Marte, Northern Chile // Econom. Geol. 1992. V. 86. P. 1271–1286.*