

Редкие минералы Верхнечегемской кальдеры (в ксенопитах скарнированных известняков из игнимбритов)

**В.М. Газеев¹, А.Е. Задов², А.Г. Гурбанов³, Н.Н. Перцев⁴,
А.В. Мохов⁵, А.Я. Докучаев⁶**

Верхнечегемская кальдера расположена в горной части Кабардино-Балкарии и образована вулканитами кислого и среднего состава. В районе водораздельного хребта, расположенного между вершинами Лакарги и Ворлан, в вулканитах были обнаружены крупные обломки позднеюрских известняков, претерпевших высокотемпературные контактовые изменения в условиях сперрит-мервинитовой фации и содержащих редкие минералы. Большая часть этих минералов на Северном Кавказе отмечается впервые, а некоторые из них известны в мире только в единичных проявлениях (рондорфит – вторая находка в мире). Выявленные минералы образуют несколько разноматричных парагенезисов. Наиболее распространенным является кальциооливиновый парагенезис, представленный следующим набором минералов: кальциооливин, куспидин, рондорфит, феррит кальция, вадалит. Менее распространен сперрит-кальцит-вадалитовый парагенезис. Эти минералы встречаются в контакте с вмещающими игнимбритами (наиболее «горячая» зона скарна). Иногда минералы указанных парагенезисов встречаются совместно. Феррит кальция и вадалит, как правило, замещены более поздними минералами – соответственно гематитом и водными кальциевыми алюминатами. Низкотемпературные продукты изменения минералов кальциооливинового парагенезиса представлены гиллебрандитом, афвиллитом, дженнитом, эттрингитом, таумаситом, стурманитом, бёмитом и другими минералами. Низкотемпературные продукты изменения минералов сперритового парагенезиса представлены в основном гидрокальцитом; иногда зерна сперрита окружены каемкой тиллеита. Предложено геологическое объяснение условий формирования сообщества редких минералов.

Верхнечегемская кальдерная вулканическая структура (площадью около 110 км²) расположена в горной части Кабардино-Балкарии, в междуречье рек Чегем–Кестанты (правого притока р. Баксан). В настоящее время она представляет собой высокогорное вулканическое плато с несколькими центрами разновозрастного проявления вулканизма. Морфологически это район с сильно расчлененным рельефом и относительными превышениями до 2200 м. Глубоко врезаемые каньоны рек Джылгысу, Этмюшкол, Джунгусу и др., разделенные узкими гребневидными водораздельными грядами, имеют на многих участках совершенно отвесные и недоступные стены высотой до 1,0–1,5 км. Вопросы стратиграфии и петрологии нагорья в разное время занимались С.П. Соловьев, К.Н. Паффенгольц, Ю.П. Масуренков, Е.Е. Милановский, Ф.В. Каминский, С.М. Седенко, Н.В. Короновский, Е.В. Станкевич, В.Г. Молякко, И.М. Остафийчук, А.М. Борсук, П. Липман, А.Г. Гурбанов, Е.Н. Лятифова и др., посвятившие

этой структуре ряд статей и монографий. Однако проблемы взаимодействия вулканитов с вмещающими породами и их рудной специализации остаются все еще слабо изученными.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЧЕГЕМСКОЙ КАЛЬДЕРЫ

В основании вулканического разреза (рис. 1) залегает толща розовато-серых игнимбритов риолитового состава мощностью до 1100 м со столбчатой отдельностью, прослеживаемой на всю ее мощность. Местами в ее подошве присутствуют смоляно-черные витрофиры (5–20 м). Выше разрез наращивает горизонт лавоподобных серовато-сиреневых игнимбритов (50–70 м), отмечаемый лишь на востоке и в центральной части вулканической постройки. Далее, вверх по разрезу, обнажается толща розовато-серых игнимбритов риодацитового состава (до 300 м) с отдельными линзами и

¹В.М. Газеев – к.г.-м. н. ИГЕМ РАН

²А.Е. Задов – к.г.-м. н., НПО «Регенератор» (Москва)

³А.Г. Гурбанов – к.г.-м. н. ИГЕМ РАН

⁴Н.Н. Перцев – д.г.-м. н. ИГЕМ РАН

⁵А.В. Мохов – к.г.-м. н. ИГЕМ РАН

⁶А.Я. Докучаев – к.г.-м. н. ИГЕМ РАН

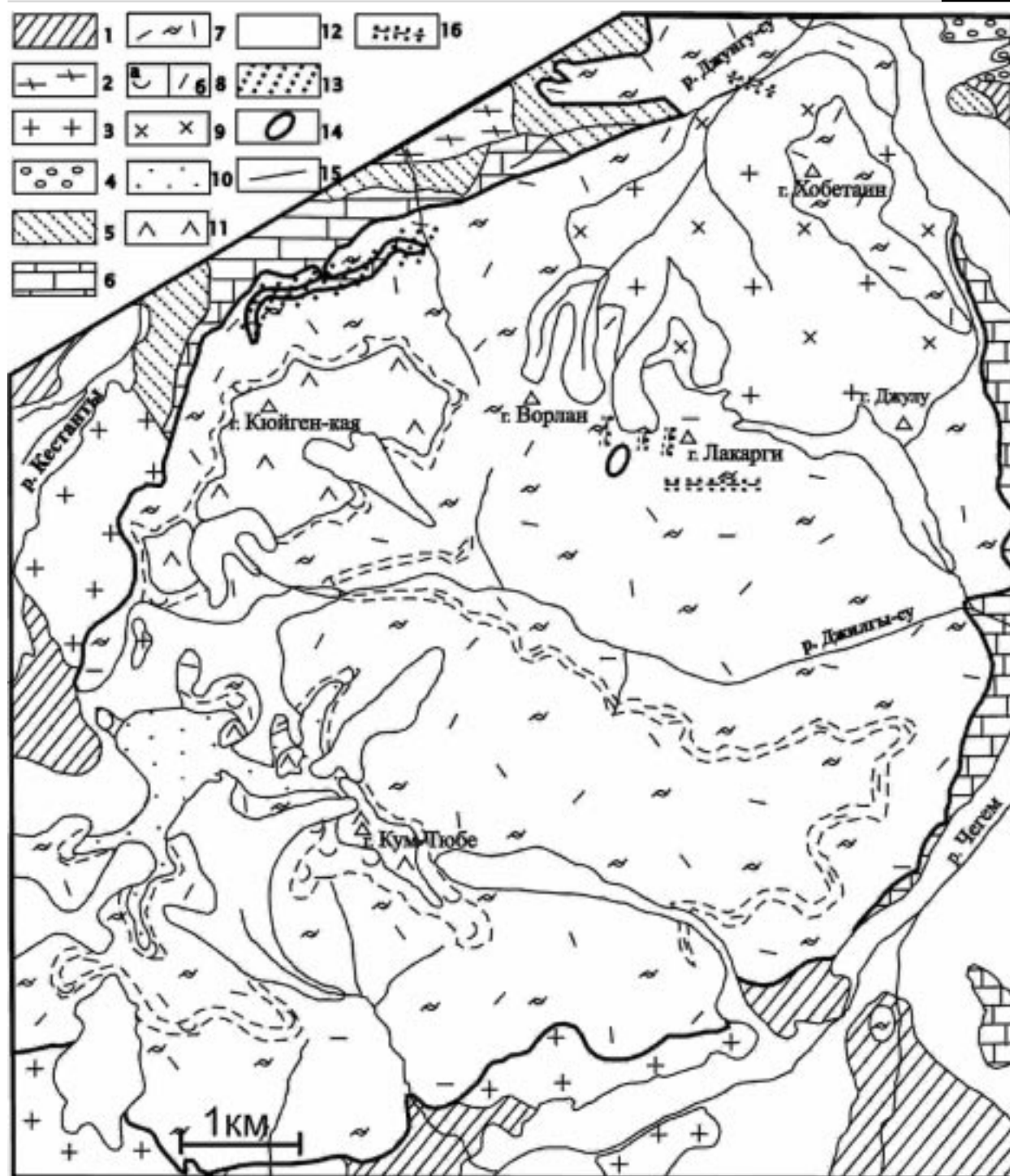


Рис. 1. Геологическая карта Верхнечегемской вулканической постройки

Условные обозначения: 1–6 – разновозрастные образования фундамента вулканической постройки: 1–3 – структурно формационная зона Главного хребта: 1 – кристаллические сланцы и гнейсы, 2 – гранито-гнейсы 3 – граниты, 4 – конгломераты, песчаники и глинистые сланцы перми; 5–6 – терригенно-карбонатные образования юры: 5 – среднеюрские аргиллиты, алевролиты и песчаники, 6 – верхнеюрские известняки; 7–11 – неоген-четвертичные образования: 7 – игнимбриты риолитового и риодацитового состава, 8 – маркирующие уровни: 8а – туфы, 8б – лавовидные игнимбриты, 9 – гранодиориты, 10 – гляциальные отложения миндельского оледенения, 11 – постминдельские лавы андезитового состава; 12 – четвертичные гляциальные, аллювиальные и пролювиальные отложения; 13 – участок офикальцитовых изменений в известняках; 14 – места находок ксенолитов с редкими минералами; 15 – геологические границы; 16 – разрывные нарушения, сопровождаемые ожелезнением и аргилизацией пород.

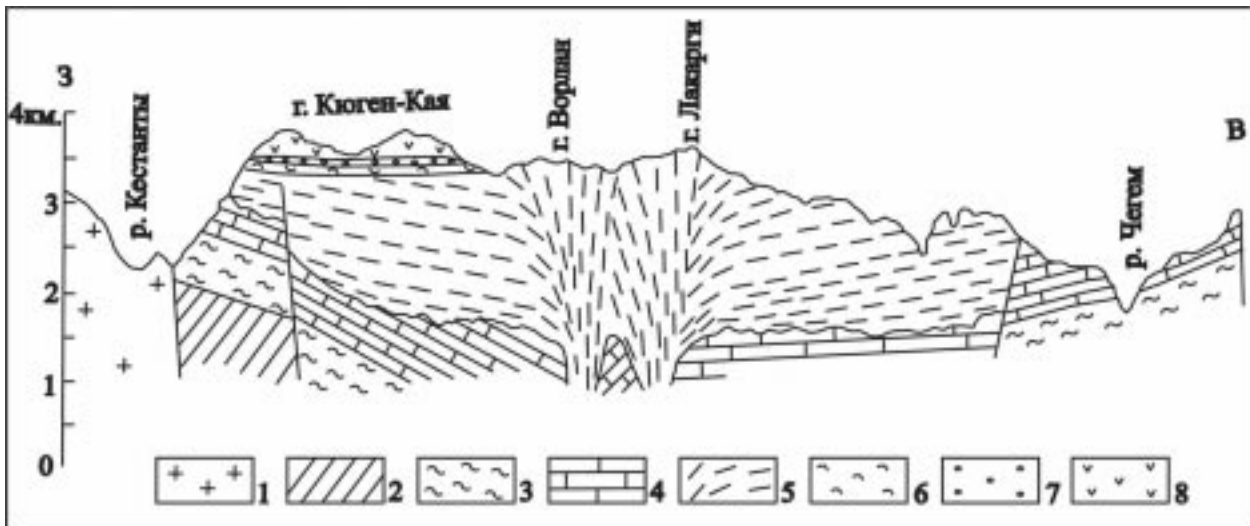


Рис. 2. Схематический разрез Верхнечегемского нагорья [по Е.Е.Милановскому, Н.В.Короновскому, 1973].

Условные обозначения: 1 – граниты, 2 – кристаллические сланцы и гнейсы, 3 – среднерюрские аргиллиты с прослоями алевролитов и песчаников, 4 – верхнеюрские известняки, 5 – игнимбриты, 6 – туфы, 7 – гляциальные отложения, 8 – лавы андезитового состава.

непротяженными горизонтами туфов. Светло-серые туфы дацитового состава (до 60 м) сменяются в верхней части туфопесчаниками (до 10 м). На туфопесчаниках залегает покровная морена миндельского оледенения, сохранившаяся на водоразделах в южной части нагорья. На ледниковые отложения налегает лавовый покров двупироксеновых андезитов, слагающих вулканические вершины Кумтюбе и Кюгенкая. Останцы вулканических аппаратов средне-позднеплиоценового возрастного этапа (рис. 2) сохранились в районе вершин Лакарги и Ворлан [Милановский, Короновский, 1973]. Интрузивные породы представлены гранодиорит-порфирами Джунгусу, слагающими шток в северной части вулканической постройки (площадью около 15 км²). К-Аг возраст игнимбритов 2,8–3,0 млн лет, гранодиорит-порфиров – 2,5 ± 0,2 млн лет [Борсук, 1976] – 2,78 млн лет [Lirman et al., 1993].

Всеми исследователями, изучавшими нагорье, отмечается обилие ксенолитов подстилающих пород [Масуренков, 1961; Милановский и др., 1962; Ляtifова, 1993; Lirman et al., 1993 и др.]. Здесь присутствуют обломки кристаллических сланцев, позднепалеозойских гранитов, а в той части нагорья, где игнимбриты перекрывают отложения средней и поздней юры, многочисленны ксенолиты аргиллитов, песчаников и известняков, количество которых быстро убывает вверх по разрезу. Нами в ряде мест были изучены как ксенолиты карбонатных пород, так и известняки из подстилающей толщи для оценки изменений, произошедших в них в результате термального воздействия вулканитов. В результате этого исследования были выявлены следующие закономерности.

На юго-восточном окончании вулканической постройки обломки известняков в игнимбритах являются наиболее крупными и многочисленными (рис. 3,

обн. 1). Они мраморизованы, часто имеют голубоватую окраску и при ударе молотком выделяют резкий сернистый запах. При их микроскопическом изучении отмечается собирательная перекристаллизация карбоната и иногда в наиболее мелких обломках, размером до 3–4 мм, присутствует реакционная каемка (до 0,7–1,0 мм), сложенная смесью трудно диагностируемых тонких минеральных новообразований. На северо-западе вулканической постройки, в пределах узко вытянутого в ЮЗ–СВ направлении эрозионного окна, в подстилающей игнимбрите карбонатной толще, вдоль контакта обнаружена зона офикальцитовых изменений известняков (рис. 3, обн. 2), в которой карбонатная масса пронизана многочисленными прожилками серпентинита (офита).

Более высокотемпературные минеральные парагенезисы встречены нами в крупных карбонатных ксенолитах, обнаруженных вблизи водораздельной части небольшого хребта, расположенного между горами Лакарги и Ворлан (координаты GPS: X – 8344570 м, Y – 4796542 м, H – 3301 м). Всего обнаружено пять сближенных участков с развалами обломков ксенолитов. В обломочном материале можно выделить фрагменты карбонатных ядер и скарнированных внешних зон.

Ксенолит 1 (рис. 3, обн. 3, рис. 4). Площадь видимого сечения около 20–25 м². Центральная его часть сложена голубовато-серым мрамором с реликтами слоистости. В его нижней периферии присутствует зона скарнирования мощностью до 1,0–1,5 м, сложенная плотной темно-серой породой.

Ксенолит 2 (рис. 4). Площадь видимого сечения примерно 3–4 м². Ксенолит сложен мраморизованным известняком, в котором по нижней периферии наблюдается зона скарнирования мощностью до 0,5 м. Контакты ксенолита не обнажены.

Ксенолит 3 (рис. 4) прослеживается в элювии в виде скопления обломков размером до $0,01-0,03 \text{ м}^3$, сконцентрированных на площади около 10 м^2 . Большинство обломков сложено плотной желтовато-серой породой, иногда с мелкими зернами полупрозрачного желтовато-бурого минерала. Здесь встречен обломок кварцевого песчаника на карбонатном цементе; по-видимому, этот обломок характеризует исходную породу, сохранившуюся в центральной части ксенолита.

Ксенолит 4. Площадь видимого сечения $1,0 \text{ м}^2$. Верхняя часть вскрытого эрозией ксенолита сложена плотной желтовато-серой породой. На контакте с игнимбриком отмечены прожилки и розетки белого игольчатого минерала (афвиллит). Вблизи ксенолита игнимбрик имеет зеленоватый цвет (вместо обычного розоватого). Мощность зоны изменений до $0,5 \text{ м}$.

Ксенолит 5 прослеживается в элювии в виде скопления обломков размером $0,01-0,05 \text{ м}^3$, сконцентрированных на площади $5,0 \text{ м}^2$.

Выявленные зоны скарирования позже были в разной степени гидротермально изменены. Совместно с карбонатными ксенолитами встречаются крупные обломки аргиллитов и алевролитов без видимых следов ороговикования.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В полевые периоды 2004–2005 гг. нами были отобраны образцы из зон изменения в доломитизированных известняках и в карбонатных ксенолитах, а также в разрывных нарушениях, где наблюдается аргиллизация пород. Лабораторные исследования включали: 1) микроскопическое изучение шлифов; 2) определение содержаний петрогенных элементов весовым и рентгенофлуоресцентным методом на квантометре СРМ-25 (в ИГЕМ РАН); 3) исследование состава породообразующих минералов на сканирующем электронном микроскопе Samscan-4DV с энергодисперсионным анализатором Link-10000 в Лаборатории локальных методов исследования вещества (МГУ) и на аналитическом сканирующем электронном микроскопе JSM-5300, оснащенный спектрометром Link ISIS (ИГЕМ РАН); 4) диагностику метасоматических минералов методом рентгено-фазового анализа на дифрактометре Rigaku D/Max-2200 на $\text{CuK}\alpha$ излучении с монохроматором в интервале углов 2θ и $3-90^\circ$ (ИГЕМ РАН).

Изучение химических составов игнимбриков и туфов, слагающих вулканическую постройку, неизмененных известняков и высокотемпературных метасоматитов (табл. 1), обнаруженных в карбонатных ксенолитах, а также аргиллизитов из зон разломов позволило выявить некоторые закономерности в перераспреде-

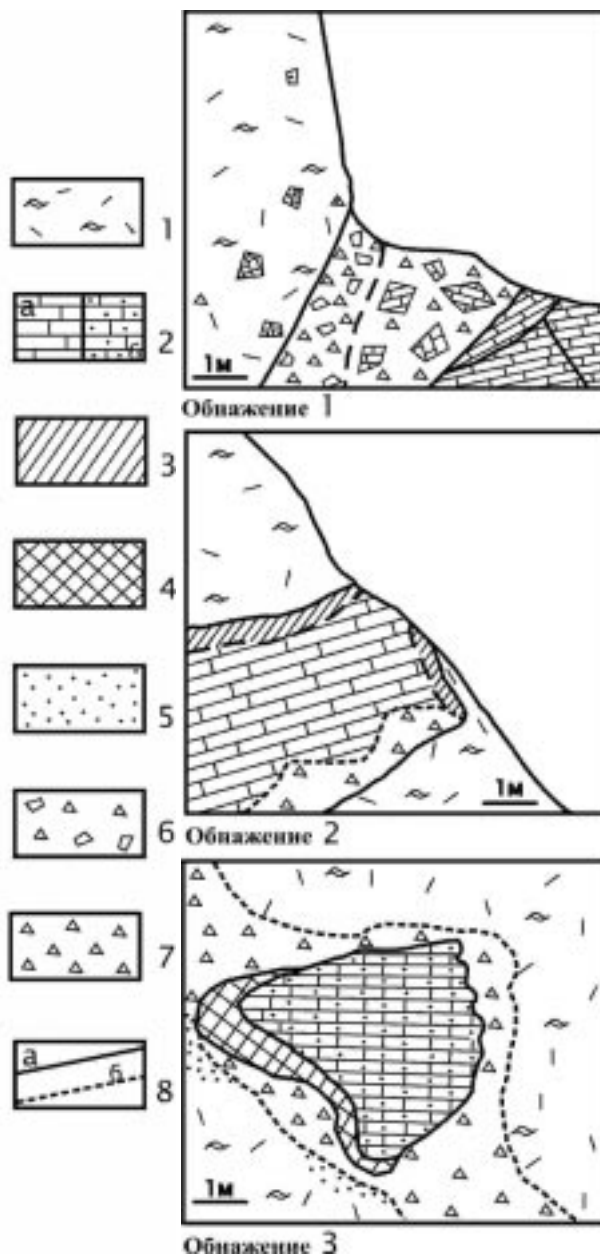


Рис. 3. Зарисовки обнажений

Условные обозначения: 1 – игнимбрик, 2а – известняк, 2б – мрамор, 3 – офикальцит, 4 – сперритовый скари, 5 – зона изменения игнимбрика, 6 – зона приконтактного брекчирования известняков, 7 – колювиально-делювиальные отложения, 8а – видимые границы тел, 8б – границы колювиально-делювиального шлейфа.

нии химических элементов в процессе становления Верхнечегемской кальдеры. Зоны изменений в карбонатных ксенолитах района гор Лакарги и Ворлан, в сравнении с неизмененными и мало измененными мраморами, характеризуются повышенными содержаниями некоторых петрогенных (SiO_2 до $19,55-30,0\%$; Al_2O_3 до $3,85-6,5\%$), летучих (Cl $0,06-0,86\%$) и халькофильных (As до $22-2570 \text{ г/т}$) элементов.



Ксенолит 1. Площадь видимого сечения 20–25 м².



Ксенолит 2. Площадь видимого сечения 3–4 м². Начальная стадия разрушения.



Остаток ксенолита 3. Прослеживается в элювии в виде скопления обломков, сконцентрированных на площади около 10 м².

Рис. 4. Ксенолиты известняков в игнимбритах Верхнекегемского вулканического плато с редкими минералами.

Зоны разрывных нарушений субширотного и субмеридионального простирания, выявленные по периферии гранодиоритового массива, характеризуются слабым развитием процессов ожелезнения, карбонатизации и аргиллизации вулкаников, что сопровождается повышением содержания петрогенных (Fe, Ca, Mg) и рудных (Zn, V, Ni) элементов.

В вышеуказанных ксенолитах и в зонах аргиллизации вулкаников обнаружен ряд очень редко встречающихся минералов.

ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

Кальциооливин $g\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$. Идентифицирован нами по рентгенограмме, ИК-спектру, химическому составу (табл. 2) и оптическим свойствам. Минерал не имеет спайности, обычно механически окрашен в очень светло-розоватый цвет микрокристаллами берналита $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (берналит диагностирован методом микродифракции кристаллов). Это единственная известная стабильная ромбическая форма двукальциевого силиката; остальные существующие полиморфы – моноклинные.

Рондорфит $\text{Ca}_8\text{Mg}[\text{SiO}_4]_4\text{Cl}_2$. Этот недавно открытый минерал известен только в Германии, в районе озера Лаахер [Mihajlovich et al., 2004] (табл. 2; рис. 5). Он диагностирован нами по рентгенограмме, химическому составу и оптическим свойствам; образует, от оранжевого цвета до желтого разных оттенков, округлые выделения размером до 1 см, обычно сильно трещиноватые и мелкие кристаллы размером до 1 мм. Оптически изотропен ($n=1,694 \pm 0,003$).

Дженнит $\text{Ca}_9\text{H}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ диагностирован по рентгенограмме и химическому составу. Образует очень мелкие белые фарфоровидные скопления микронных и субмикронных тонкоигольчатых кристаллов вокруг или вблизи реликтов «кальцио-оливина».

Кустидин $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{F},\text{OH})_2$ диагностирован по рентгенограмме, ИК-спектру и химическому составу; встречается в виде мелких бесформенных сероватых кристаллов.

Сперрит (спуррит) $\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)_2(\text{CO}_3)$ диагностирован оптически, по ИК-спектру, химическому составу (табл. 2, рис. 5) и рентгенограмме RDF 13-0496: 2,701 (100), 2,635 (70), 3,019 (65). Образует бесцветные, часто прозрачные удлиненные зерна размером до 3–6 мм, дающие в шлифе чечевицеобразные разрезы. Двусный отрицательный, $N_p^1=1,640 \pm 0,002$, $N_g^1=1,679 \pm 0,002$.

Гиллебрандит $\text{Ca}_2\text{SiO}_7(\text{OH})_2$ диагностирован по рентгенограмме и химическому составу (табл. 2); образует мелкие белые тонкоигольчатые кристаллы, является главным минералом в каемках замещения вокруг кальциооливина.

Афвиллит $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_4(\text{OH})_6$ диагностирован оптически в шлифах, по ИК-спектру и рентгенограмме RDF 29-0330: 3,174 (100), 2,834 (95), 2,818 (60). Обычно образует небольшие скопления мелких белых кристаллов среди прочих продуктов изменения ранних кальциевых силикатов, часто покрывает стенки мелких и мельчайших кавернозных полостей. Встречается также в виде тонко-кристаллического агрегата фарфоровидного облика на границе зоны реликтов ранних кальциевых минералов и является продуктом их изменения.

Тиллеит $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7(\text{CO}_3)_2$ местами образует тонкие каемки вокруг зерен сперрита (рис. 5); минерал диагностирован по химическому составу и оптическим свойствам (в шлифе).

Таблица 1

Зоны метасоматических изменений верхнеюрских известняков и карбонатных ксенолитов.

№ обр.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	4.0	-	30.0	19.32	19.55	23.8	27.3	27.71	16.3	25.75
TiO ₂	0.06	-	0.3	0.04	0.08	0.14	0.16	0.12	0.03	0.09
Al ₂ O ₃	0.96	-	6.5	3.9	3.82	5.18	5.35	5.79	1.43	3.31
Fe ₂ O ₃	0.3	-	0.16	0.23	0.78	1.1	0.83	0.71	1.62	3.58
FeO	0.25	-	0.58	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0.03	-	0.04	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.15	0.17
MgO	21.84	-	1.62	0.49	0.42	0.29	0.33	11.62	11.7	15.97
CaO	34.7	-	44.1	61.93	60.34	53.53	52.44	28.92	37.33	24.25
Na ₂ O	0.17	-	1.11	0.01	0.02	0.02	0.05	0.18	0.13	0.1
K ₂ O	0.13	-	0.48	0.01	0.02	0.01	0.02	0.16	0.07	0.06
H ₂ O	8.73	-	6.41	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	27.1	-	6.60	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O+CO ₂	-	-	-	12.9	13.3	11.6	12.1	-	-	-
P ₂ O ₅	0.06	-	0.12	0.06	0.05	0.01	0.01	0.03	0.09	0.08
S ⁻²	0.04	-	0.2	0.29	0.63	4.39	0.75	0.05	0.07	0.25
SO ₃	0.1	-	0.56	-	-	-	-			
F	0.03	-	0.08	-	-	-	-			
Cl	-	-	-	0.59	0.29	0.06	0.86	н.о.	н.о.	н.о.
C орг.	0.4	-	0.4	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Сумма	98.54	-	99.26	99.78	99.32	100.16	100.22	75.31	68.92	73.61
Cr	8	42	23	6	15	14	8	7	24	20
Ni	14	28	15	4	5	15	7	9	11	15
V	11	8	33	11	5	9	15	13	18	15
Pb	1	6,5	10	1	0.1	2	2			
Zn	12.5	17.5	16	2	19	18	10	15	13	48
As	0.1	0.1	150	429	2570	170	423	66	22	312
Sr	-	-	-	9	6	8	2	237	54	31
Ba	550	350	570	15	1	17	13	438	568	378
Zr	-	-	-	7	19	31	29	46	14	35

Результаты анализов:

1–3 – весового и спектрального, 4–10 – рентгенофлуоресцентного: 1 – зоны изменений в доломитах (офикальцит); 2 – ядерная часть карбонатного ксенолита (мрамор); 3–10 – зоны изменений в карбонатных ксенолитах.

«-» – не определялось; «н.о.» – не обнаружено.

Гидрокаломит $Ca_2Al(OH)[Cl_{1-x}y(OH)_x(CO_3)_y]3H_2O$. Минерал в изобилии встречается в трещинах сперритового скарна, где он образовался, возможно, по вадолиту. Гидрокаломит диагностирован по рентгенограмме и химическому составу (табл. 2; рис. 5), принадлежит к высокохлорным представителям, содержит также карбонатные группы (ИКС). Ввиду тонкодисперсности оптически не изучался. По нашим данным, это третья находка в мире.

Титансодержащий фассаит. Диагностирован и по химическому составу (табл. 2). Образует светло-розовые зерна и их скопления размером до 3–5 мм. Оптические показатели мало отличаются от литературных данных по пироксенам аналогичного состава.

Минералы группы этtringита. Этtringит повсеместно образует белые параллельно-шестоватые агрегаты с шелковистым блеском, преимущественно в

поздних трещинках. Химический состав изученного эттрингита – промежуточный между стехиометрическими составами эттрингита и таумасита. Таумасит образует мельчайшие белые с сильным блеском игольчатые кристаллы на стенках самых поздних трещин. Диагностирован по рентгенограмме RDF 46-1360: 9,59 (100), 3,801 (23); 5,53 (22) и оптическим свойствам ($N_o=1,500(2)$; $N_e=1,479(2)$), отрицательному удлинению и способности бурно «вскипать» в соляной кислоте. По-видимому, таумасит – наиболее поздний новообразованный минерал, т.к. он легко образуется во влажной среде даже при 4°C (в присутствии соединений алюминия). Стурманит – редкий В- и Fe-содержащий член группы эттрингита; встречается в составе тонкозернистых полиминеральных (эттрингит-стурманит-бёмитовых) кирпично-красных псевдоморфоз по неизвестному минералу.

Минералы группы майенита. В эту группу минералов входят разнообразные кальциевые алюминаты с гранатоподобной структурой, некоторые из которых содержат также Si^{4+} , Cl, OH и др. Находки их единичны. В изученном скарне эти минералы широко распространены вместе с минералами «кальцио-оливинового» парагенезиса. Но из-за тонкодисперсного распределения и отсутствия однородных скоплений их диагностика затруднительна. Методом микрозондового анализа (табл. 2) удалось идентифицировать железосодержащий вадалит $Ca_{12}[Al_8Si_4Fe_2]O_{32}Cl_3$ [Mihailovic e.a., 2004].

Гидроксилэллистадит. Минерал широко распространен в скарнах с рондорфитом. Минерал интересен почти полным отсутствием фосфора и

наличием мышьяка. Гидроксилэллистадит сильно обогащен хлором, фтор не обнаружен. Зерна гидроксилэллистадита кавернозные, замещаются с поверхности поздними кальциевыми гидросиликатами.

Кроме выше описанных, здесь в разных количествах отмечены такие минералы как пектолит $Ca_2NaSi_3O_8(OH)$, циркон, перовскит, монтичеллит, кальцит, гипс, серпентин, аллофан, шеелит $CaWO_4$, штольцит $PbWO_4$.

Изучен состав двух карбонатных ядер ксенолитов. В одном случае ядро сложено кальцитом с примесью аллофаноидов. (Аллофан совместно со смектитом (сапонитом) практически нацело замещает в этом ксенолите ранние скарновые минералы.) В другом случае ядро оказалось сложным бруситовым ($Mg(OH)_2$) мрамором с подчиненным количеством низкомагнезиального кальцита (~ 5 % минала $MgCO_3$) и арагонита; по-видимому, переработке подвергся фрагмент доломитовых пород. Скарновые зоны в этом ксенолите сохраняют реликты ранних высокотемпературных минералов.

Рудные минералы редки, за исключением гематита и берналлита; обычно они образуют редкую тонкодисперсную вкрапленность. Достоверно установлены штольцит – $PbWO_4$ (рентгенография, микрозонд) и шеелит – $CaWO_4$ (люминесцентный метод). Встречены микронные зерна не идентифицированной Zr-Sn фазы (окисла) и столь же тонкие зерна не идентифицированного минерала серебра. По всей видимости, имеются микронные зерна касситерита.

Таблица 2

Химические анализы изученных минералов, по данным микрозондового анализа на LINK ISIS

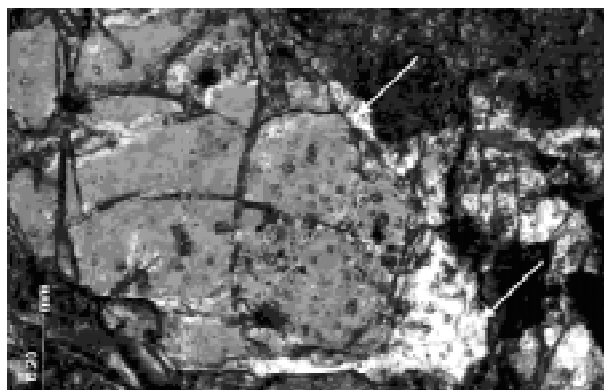
Элемент, оксид	Минерал								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	34.83	31.40	32.52	29.09	33.75	33.30	8.93	0.30	42.17
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	4.62
Al ₂ O ₃	0	1.55	0.41	0.27	0.28	0,30	35.87	27.07	15.84
FeO	0	0	0	0.09	0	0	3.05	0	1.15
CaO	64.89	53.59	64.68	69.17	59.21	48.60	40.91	63.15	20.86
MgO	0	4.60	0	0	0	0	0.32	0	15.37
Na ₂ O	0.47	0	0	0.6	0	0	0.48	0	0
H ₂ O	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	6.76*	16.44*	4.27	н.о.	н.о.
SO ₃	0	1.07	0	0.44	0	0.86	0	0	0
Cl	0	7.80	0	0	0	0.51	7.18	8.55	0
F	0	0	6.82	0	0	0	0	0	0
Сумма	100.19	100.01	104.43	99.66	100.00	100.01	100.53	99.02	100.01

« * » – определено по дефициту суммы анализа; « н.о. » – не определялось; 0 – ниже предела обнаружения.

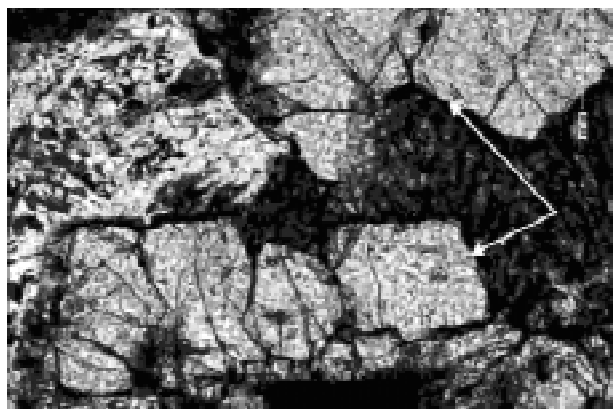
Минерал: 1 – «кальцио-оливин», 2 – рондорфит, 3 – куспидин, 4 – сперрит, 5 – гиллебрандит, 6 – дженнит, 7 – вадалит, 8 – гидрокалюмит, 9 – фассаит



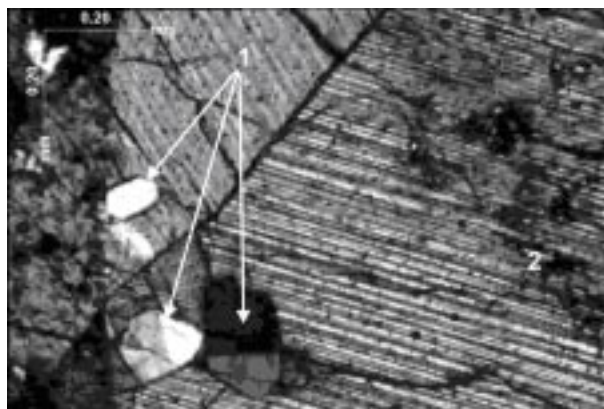
сперрит



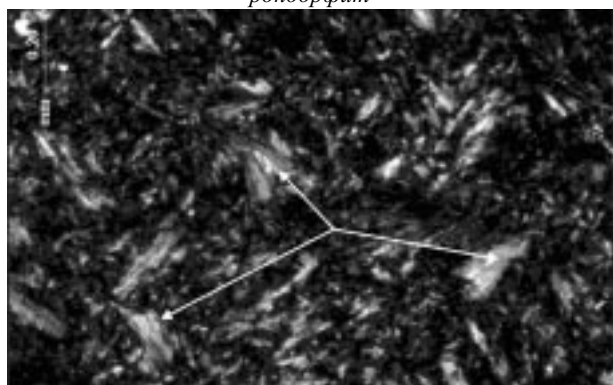
каемка тиллеита вокруг сперрита



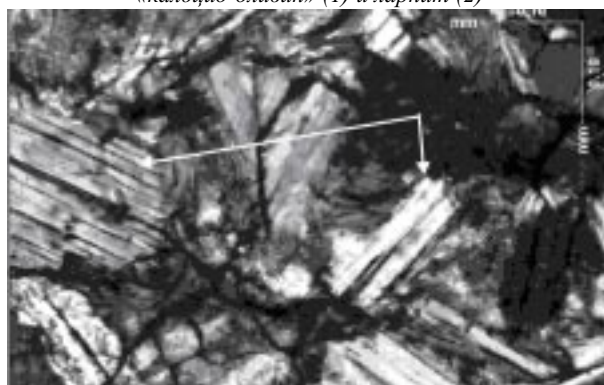
рондорфит



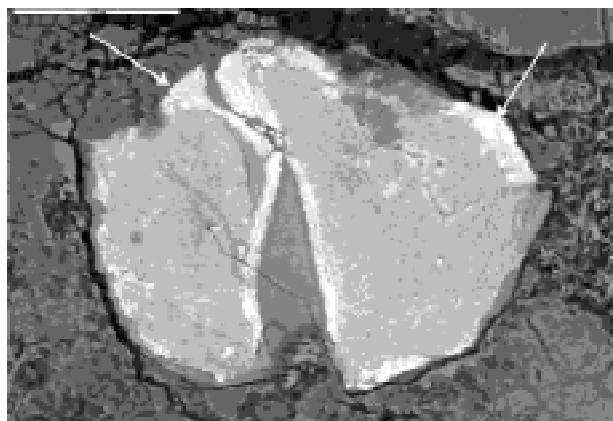
«кальцио-оливин» (1) и ларнит (2)



этtringит (таумасит)



гидрокалюмит



Ca-Zr-Sn фаза

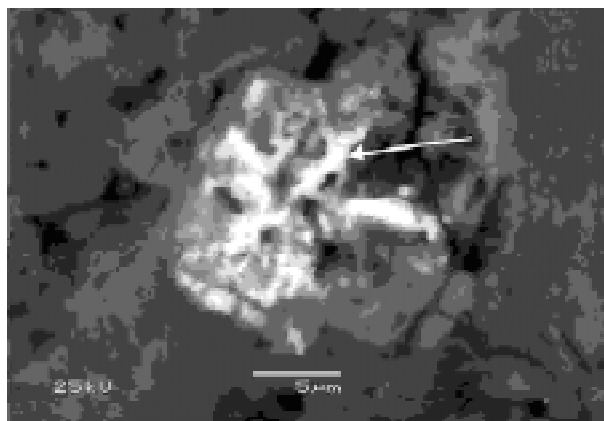


Рис. 5. Редкие минеральные виды из зон метасоматических изменений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В изученных ксенолитах установлены два парагенезиса ранних минералов. Наиболее распространенным является кальциооливиновый парагенезис, представленный следующим набором минералов: кальциооливин, куспидин, рондорфит, феррит кальция ($\text{CaO} \times 2\text{Fe}_2\text{O}_3$), вадалит. Эти минералы встречаются и непосредственно в контакте с вмещающими игнимбритами (наиболее «горячая» зона скарна). Кальциооливин образовался, судя по всему, по ларниту при понижении температуры. Среди минералов кальциооливинового парагенезиса локально встречаются включения богатого титаном фассаита (4–5 % TiO_2), перовскита и, очень редко, монтичеллита (почти стехиометрического состава). Другой высокотемпературный парагенезис – сперрит+кальцит. Ксенолиты такого состава встречаются на одном относительно узком участке; вероятно, указанные минералы слагали локальную зону. Иногда разрозненные зерна сперрита встречаются среди минералов кальциооливинового парагенезиса.

Появление индекс-минералов, и в первую очередь таких как сперрит и ларнит, свидетельствует о том, что эти породы претерпели изменения в условиях ларнит-сперрит-мервинитовой фации метаморфизма [Ревердато, 1970; Перцев, 1977], которая характеризуется высокими температурами (до 1000°C) и низкими давлениями. Температура образования высокотемпературных парагенезисов из описанных ксенолитов предположительно составляла $800\text{--}1000^\circ\text{C}$.

Низкотемпературные продукты изменения минералов «кальцио-оливинового» парагенезиса представлены гиллебрандитом ($T=300\text{--}350^\circ\text{C}$), афвиллитом ($T<150^\circ\text{C}$), дженнитом ($T=60\text{--}90^\circ\text{C}$), эттрингитом и таумаситом (от 90°C до стандартных условий). В «кальциооливиновых» скарнах белые фарфоровидные участки развития низкотемпературных кальциевых силикатов иногда плавно, а иногда и резко переходят в светло-желтые массы смектита (сапонита). Обособления смектита местами чередуются с розоватыми обособлениями серпентиновых минералов и темно-коричневыми почти аморфными аллофаноидами. Смектит и серпентиновые минералы образовались по ранним магнезиальным минералам.

Продукты изменения сперрита представлены тиллеитом.

Напомним, что в карбонатных ксенолитах, имеющих широкое распространение в игнимбритах вулканического нагорья, за исключением описанного участка, не отмечается существенных изменений их вещественного состава ксенолитов. Это известно по предшествующим исследованиям [Масуренков, 1961; Коронский, 1976; Lipman et al., 1993] и подтверждается нашими данными. Известно, что находки пород ларнит-сперрит-мервинитовой фации метаморфизма часто связаны с телами основного состава (более высо-

кая температура) и крайне редки на контактах с гранитами. Другой важной геологической особенностью происхождения сперрит-мервинитовых пород следует считать их частую пространственную приуроченность к подводным каналам магматических тел – дайкам, жерлам, неккам, штокам [Ревердато, 1970]. Известно также, что расплавные включения в плагиоклазе и кварце из вулканитов Верхнечегемской кальдеры гомогенизируются при высоких температурах ($>1100^\circ\text{C}$) [Бабанский и др., 1995]. Аналогичные результаты получены также для кислых и средних вулканитов Эльбрусского и Казбекского вулканических центров [Толстых и др., 2001], что свидетельствует о «перегретости» кислых расплавов, сформировавшихся в коллизионной геодинамической обстановке типа «континент-континент» и изливавшихся в позднеплиоцен-четвертичное время на Большом Кавказе и сформировавшихся, в том числе, Верхнечегемскую кальдеру.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что ксенолиты из района вершин Лакарги – Ворлан, в сравнении с другими карбонатными обломками, встречающимися в вулканитах, являются более глубинными. Появление их здесь, на значительном удалении от вулканической подошвы, обусловлено близостью вулканического аппарата (рис. 2). По-видимому, данные ксенолиты являются фрагментами стенок подводных каналов, где на контакте доломитов и известняков, с одной стороны, и кислого расплава, с другой стороны, была сформирована ранняя высокотемпературная ассоциация. Впоследствии эти участки были оторваны и перемещены на значительное расстояние от места своего формирования в процессе поздних извержений позднеплиоценового магматизма. Ретроградная низкотемпературная минерализация могла развиваться в них уже в пределах вулканической постройки при ее остывании. Исходя из вышеизложенного, с большой вероятностью можно предполагать наличие скарновых образований в основании Верхнечегемской кальдеры вблизи зон контактов известняков с подводными каналами вулканических аппаратов. Отметим, что подобные образования, возможно, встречаются и на территории Южной Осетии в районе Кельского вулканического нагорья, где описаны зоны термального изменения известняков на контактах с жилами позднечетвертичных андезитов и дацитов [Дзоценидзе, 1964].

Представленные результаты являются предварительными, так как изученные ксенолиты отличаются очень сложным минеральным составом. Аналогов найденным скарнам не имеется. В Германии, в районе озера Лаахер, в скарнированных ксенолитах среди щелочных лейцит-тефритовых лав, имеются подобные образования. Ксенолиты района озера Лаахер являются известным объектом, где в течение продолжительного времени совершаются находки новых минералов. В нашем случае вмещающие породы – кислые, что, вероятно, должно отразиться и на минералогии скарнов. Похо-

жая ассоциация минералов также выявлена и в «выгоревших» терриконах вблизи г. Копейска в Челябинской области, однако эти образования имеют техногенную природу.

Из приведенных данных следует, что изученные скарны сложены редкими и редчайшими минералами, выполняющими здесь роль породообразующих минералов. Поэтому изучение минералогии этих скарнов имеет важное значение и, несомненно, приведет к получению новых данных об уникальной группе недостаточно изученных минералов.

Промышленных скоплений рудной минерализации, которая могла формироваться в связи с внедрением гранодиоритов и излияниями андезитов, до настоящего времени не выявлено. Тем не менее, проведенными исследованиями установлены повышенные содержа-

ния рудогенных элементов (Zn, V, W, Ni, As) в зонах разрывных нарушений по периферии гранодиоритового массива, сопровождающихся ожелезнением, карбонатизацией и аргиллизацией вулканитов; выявлена тонкодисперсная рудная минерализация – гематит (Fe_2O_3), берналлит ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), штольцит (PbWO_4), шеелит (CaWO_4), оксид Zr и Sn, не идентифицированный минерал серебра, касситерит (?). Это открывает новые перспективы поиска редкометального и полиметаллического оруденения в пределах Верхнечегемской кальдеры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ «Научные школы» НШ-1251.2003.5; Грантов РФФИ № 03-05-64215 и № 03-05-96744-юг.

Литература

- 1. Бабанский А.Д., Ашихмина Н.А., Коваленко В.И. и др.** Исходная магма пород Верхнечегемского кальдерного комплекса (Северный Кавказ) по данным изучения включений в минералах // ДАН РАН. 1995. Т. 344. № 2. С. 226–228.
- 2. Борсук А.М.** Мезозойские и кайнозойские магматические формации Большого Кавказа. – М.: Наука, 1979. 299 с.
- 3. Дзонидзе Н. М.** Новые данные о верхнечетвертичных вулканических образованиях Кельского вулканического нагорья и прилегающих районов // Вопросы геологии Грузии. К XXII сессии международного геологического конгресса. – Тбилиси: Мецниереба, 1964. С. 215–221.
- 4. Ляtifова Е.Н.** Петрология плиоценового вулканизма Чегемского кальдерного комплекса (Северный Кавказ): дисс. на соиск. уч. ст. к.г.-м.н. – М.: ИГЕМ РАН, 1993.
- 5. Масуренков Ю.П.** Кайнозойский вулканизм Эльбурской вулканической области // Труды ИГЕМ. – М.: Изд. АН СССР. 1961. Вып. 51. 132 с.
- 6. Милановский Е.Е., Короновский Н.В.** Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. – М.: Недра, 1973. 278 с.
- 7. Перцев Н.Н.** Высокотемпературный метаморфизм и метасоматизм карбонатных пород. – М.: Наука, 1977. 256 с.
- 8. Ревердато В.В.** Фашии контактового метаморфизма. – М.: Недра, 1970. 270 с.
- 9. Толстых М.Л., Наумов В.Б., Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Богатиков О.А., Конопкова Н.Н.** Состав магматических расплавов вулканов Эльбрус и Казбек (Кавказ) по данным изучения включений в минералах // Геохимия. 2001. № 4. С. 1–8.
- 10. Lipman P.W., Bogatikov O.A., Tsvetkov A.A., Gazis C., Gurbanov A.G., Hon K., Koronovsky N.V. et al.** 2.8 Ma ash-flow caldera at Chegem River in the Northern Caucasus Mountain (Russia), cotemporaneous granites and associated ore deposits // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1993. N 57. P. 85–124.
- 11. Mihajlovich T., Lengauer C.L., Ntaflos T. et al.** Two new minerals, rondonfite, $\text{Ca}_8\text{Mg}[\text{SiO}_4]_4\text{Cl}_2$, and almarudite, $\text{K}(\text{Na})_2(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mg})_2(\text{Be}, \text{Al})_3[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]$, and a study of iron-rich wadalite, $\text{Ca}_{12}[\text{Al}_8\text{Si}_4\text{Fe}_2]\text{O}_{32}\text{Cl}_6$ from the Bellerberg (Bellberg) volcano, Eifel, Germany // N. Jb. Miner. Abh.- Stuttgart, Januar. 2004. V. 179. No 3. P. 265–294.

