

# Минералогия скарнированных известковых ксенолитов вулкана Шадил-хох (Кельский вулканический район Большого Кавказа)

В.М. Газеев<sup>1</sup>, О.А. Гурбанова<sup>2</sup>, А.Е. Задов<sup>3</sup>, А.Г. Губанов<sup>4</sup>, А.Б. Лексин<sup>5</sup>

## ВВЕДЕНИЕ

В 2006 году в Вестнике Владикавказского научного центра РАН были опубликованы первые результаты изучения редких минералов, обнаруженных в ксенолитах скарнированных известняков из игнимбритов Верхнечегемской кальдеры, расположенной в верховьях р. Чегем в Кабардино-Балкарии [2]. В последующие годы к изучению этих объектов присоединилась большая группа минералогов из научно-исследовательских центров России, Польши и Германии. В результате проведенных исследований были открыты следующие новые, ранее неизвестные минералы: кальциооливин ( $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ ); лакаргит  $\text{CaZrO}_3$ ; кумтюбеит  $\text{Ca}(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$ ; чегемит  $\text{Ca}_7(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})_2$ ; битиклеит- $(\text{SnAl})_2\text{Ca}_3\text{SbSnAl}_3\text{O}_{12}$ ; битиклеит- $(\text{ZrFe})\text{Ca}_3\text{SbZrFe}^{3+}_3\text{O}_{12}$ ; тотурит  $\text{Ca}_3\text{Sn}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{SiO}_{12}$ ; эльбрусит- $(\text{Zr})\text{Ca}_3\text{UZrFe}_3\text{O}_{12}$ ; магнизионептунит  $\text{KNa}_2\text{Li}(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}$ ; ворланит  $(\text{CaU}_6\text{O}_4)$ ; мегоуит  $\text{CaSnO}_3$ ; русиновит  $\text{Ca}_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)_3\text{C}_{12}$ ; аклимаит  $\text{Ca}_4[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2](\text{OH})_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  [3-13] и ряд очень редко встречающихся минералов, известных только в единичных проявлениях (рондорфит, райнхардбраунсит, ларнит, гидрокалюмит, вадалит). Исследования на этом объекте продолжаются.

В 2009 и 2010 годах, благодаря поддержке министра образования и науки Южной Осетии А.Г. Кусраева, нами проведены рекогносцировочные полевые работы, с целью оценки потенциальной рудоносности юрских и новейших вулканитов Южной Осетии. Попутно были осмотрены известные из литературных источников [1] высокотемпературные скарны Лопанисцхали, где в результате применения комплекса современных методов минералогических исследований нами были установлены: фукалит, гибшит, андрадит, волластонит-1А, ксонотлит, кальцит, этtringит, гиролит, гипс, скоутит, гармотом и каолин. При изучении новейших вулканитов Кельского пла-

то у подножья вулкана Кели встречены небольшие обломки мраморизованного известняка с волластонитом-2М. В 2010 году там же, но уже на склонах вулканического конуса Шадил-хох встречены скарнированные обломки и крупный апокарбонатный ксенолит, замешенный «скарноидным» – тонкозернистым агрегатом, состоящим из трудно диагностируемых в полевых условиях минералов. Настоящая статья посвящена минералогии «скарноидных» агрегатов, встреченных в апокарбонатных ксенолитах из лав вулкана Шадил-хох, которые, по нашему мнению, являются перспективными объектами для изучения особенностей минералообразования в условиях ларнит-мервинитовой фации и возможности открытия новых минеральных видов.

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КЕЛЬСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО РАЙОНА

Кельский вулканический район – центр проявления новейшего вулканизма, относящийся к Казбекской вулканической области Большого Кавказа. Он расположен на Южном склоне Главного Кавказского хребта, где в результате деятельности около 25 мелких вулканов образовано вулканическое нагорье, дренируемое верховьями рек Большой Лиахви, Ксани, Белой Арагви.

На нагорье выделяют несколько участков, на которых сгруппированы близко расположенные вулканы и экструзии. Первая группа – группа вулканов Непискало. Они расположены в восточной части нагорья и представлены вулканами Патаро-Непискало, Диди-Непискало, Левинсон Лессинг, Западный Эсиком и Восточный Хорисар. Вторая группа вулканов расположена в средней и южной частях нагорья. В ее составе вулканы Кели, Дзоценидзе, Схиртладзе, Северный и Южный Нарван-хох. Третья – это Эрман-Ахубатская группа вулканов, с вулканами Фидар-хох, Эр-

<sup>1</sup> Газеев В.М. – к. г.-м. н., н. с. Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН).

<sup>2</sup> Гурбанова О.А. – к. г.-м. н., н. с. Московский государственный университет, геологический факультет.

<sup>3</sup> Задов А.Е. – ООО НИЦ Неохим.

<sup>4</sup> Губанов А.Г. – к. г.-м. н., в. н. с. (ИГЕМ РАН).

<sup>5</sup> Лексин А.Б. – м. н. с. ИГЕМ РАН.

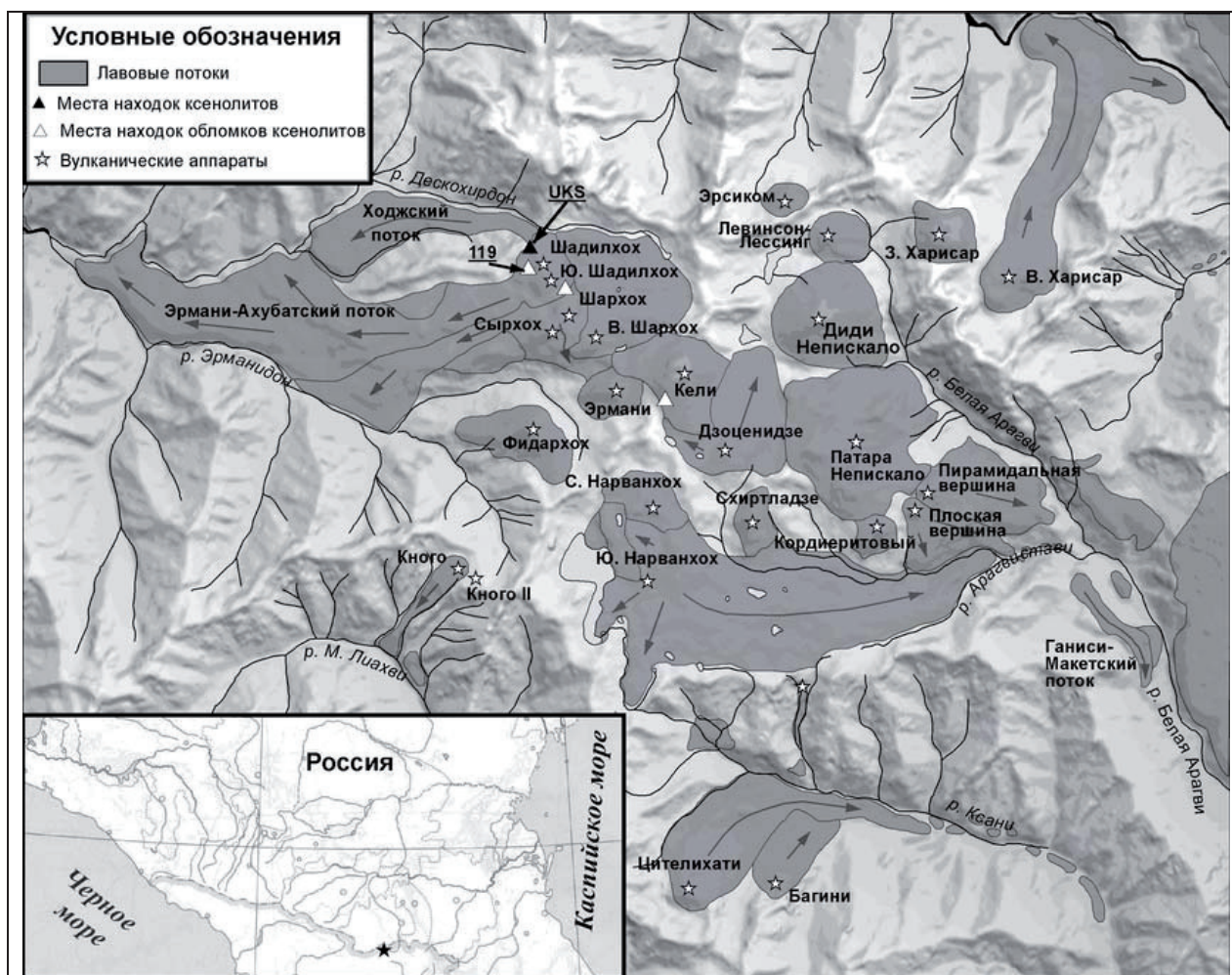


Рис. 1. Схематическая карта Кельского вулканического района

мани, Сырх-хох, Шар-хох, Восточный Шар-хох, Шадил-хох и Южный Шадил-хох расположена на западе нагорья. Южнее расположены отдельно стоящие вулканы Кнога, Цители-хати и Багини (рис. 1). В четвертую группу включены вулканы района Крестового перевала (Эсиком, Западный Харисар, Сакохе, Садладзе, Садзели), расположенные на северо-востоке Кельского вулканического района. В тектоническом плане вулканическое нагорье приурочено к северному краю субширотной ориентированной Абхазо-Рача-Кахетинской зоны (Чиаурский флишевый синклинорий) и поперечных разломов (Казбек-Цхинвальский, Мнадонский), сочленяющих зону длительного прогибания (Восточный сегмент Большого Кавказа) со структурой устойчивого поднятия (Центральный сегмент Большого Кавказа) [15, 16].

Преобладающими вулканическими породами нагорья являются афировые и порфиоровые разновидности лав, представленные плагиодацитами, дацитами, плагиориодацитами и андезидацитами. В изученной нами части территории

нагорья, расположенной западнее вулкана Кели, нижнюю часть разреза слагают лавы плагиориодацитового состава, в средней части залегают андезидациты, в верхней – плагиодациты. Все породы относятся к подотряду нормально- и низкощелочных вулканических пород.

Постройка вулкана Шадил-хох подстилается позднеюрским-меловым флишевым переслаиванием известняков, мергелей и глинистых сланцев.

Геоморфологическим методом оценен возраст ряда лавовых потоков и высказано мнение о том, что вулканическая активность здесь началась в среднем плейстоцене ( $Q_{II}$ ) и интенсивно проявилась в позднем плейстоцене ( $Q_{III}$ ) и голоцене ( $Q_{IV}$ ) [16]. По данным изотопно-геохронологического (K-Ar метод) датирования, продолжительность магматической активности в районе Кельского нагорья длилась около 200 тыс. лет. Установлены следующие временные рамки трех ее главных фаз вулканической активности: 225–170, 130–160 и менее 30 тыс. лет назад [14].



### ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вулкан Шадил-хох, деятельностью которого образован Ходжский лавовый поток, относится к наиболее поздним проявлениям вулканизма этого района. Установлено двухкратное излияние лавы из этого вулкана [15]. Останец вулканического конуса Шадил-Хоха сложен буровато-серыми редкопорфировыми лавами, по составу близкими к плагиодацитам (вес.%):  $\text{SiO}_2$  64,18–65,33;  $\text{TiO}_2$  0,64–0,71;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15,66–16,31;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  4,41–5,02;  $\text{MnO}$  0,09–0,10;  $\text{MgO}$  1,99–2,81;  $\text{CaO}$  4,28–4,61;  $\text{Na}_2\text{O}$  3,81–4,08;  $\text{K}_2\text{O}$  1,85–2,31;  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,12–0,14;  $\text{S}$  0,02 (данные рентгено-флуоресцентного анализа), ппп 0,54–0,87. Микроструктура пород гломеро- и сериальнопорфировая. Вкрапленники представлены зональным плагиоклазом (андезин), ромбическим пироксеном (бронзит), бурой роговой обманкой, кварцем. Основная масса пилотакситовая и состоит из микролитов плагиоклаза, рудного минерала и стекла.

На северо-западном склоне останца вулканической постройки, в лавах (с. ш.  $42^\circ 32' 32.4899$ », в. д.  $44^\circ 17' 50.6857$ ), встречен крупный апокарбонатный ксенолит с размером видимого сечения  $1,5 \times 3,0$  м. В центральной своей части ксенолит сложен буровато-серым тонкоплитчатым мрамором, а по периферии – светло-серым, более плотным тонкозернистым «скарноидным» агрегатом, состоящим из трудно диагностируемых в полевых условиях минералов размером менее 1 мм. В некоторых обломках «скарноидов» видны более темные и тонкокристаллические «полоски» мощностью до 1–1,5 см, с редкими овальными включениями полупрозрачного желтоватого рондорфита. Максимальный размер включений до  $2 \times 3$  мм. Граница между мрамором и «скарном» нечеткая, постепенная. Большая часть поверхности ксенолита и его пограничная часть с риодацитом задернована и засыпана обломками лав. Мощность «скарноидной зоны» 10–20 см.

На южном склоне вулкана Шадил-хох в шлейфе вулканических глыб (с. ш.  $42^\circ 32' 13.5866$ », в. д.  $44^\circ 18' 6.7403$ ) встречен еще один крупный обломок «скарноида» светло-серого цвета размером  $0,2 \times 0,3 \times 0,5$  м. Мелкие ксенолиты кварц-карбонат-волластонитового состава изредка встречаются в лавовых потоках на удалении от вулканических останцов (рис. 2).

Из плагиодацитов и ксенолитов отобраны образцы и геохимические пробы, исследования которых включали: рентгено-флуоресцентный анализ (РФА) вулкаников (ИГЕМ РАН); рентгенофазовые исследования скарноидных агрегатов на рентгеновском дифрактометре Rigaku D/MAX-2200 (ИГЕМ РАН). Качественный рентгено-



Рис. 2. Мелкий ксенолит кварц-карбонат-волластонитового состава в даците

спектральный анализ проведен в МГУ им. М.В. Ломоносова на растровом микроскопе CamScan 4DV с энергодисперсионной приставкой фирмы «Link» (аналитик Е.В. Гусева). Рентгеноструктурные исследования монокристаллических фаз будут выполняться на автоматическом монокристалльном дифрактометре Xcalibur S CCD ( $\lambda\text{Mo K}\alpha$ ). Для фаз, качество которых не удовлетворяет требованиям монокристалльной съемки, будет использоваться порошковый дифрактометр STOE STADI P (максимальная мощность 3 600 Вт, ток трубки 0–80 мА, напряжение 10–650 кВ). ИК-спектры минералов были получены методом запрессовки порошка минерала в таблетку KBr, запись спектра проводилась с помощью двухлучевого спектрометра SPECORD 75 IR при разрешении не хуже  $2 \text{ см}^{-1}$  в диапазоне  $400\text{--}1\,200 \text{ см}^{-1}$  и не хуже  $8 \text{ см}^{-1}$  в диапазоне  $1\,200\text{--}3\,800 \text{ см}^{-1}$ . При записи спектрограммы в пучок сравнения помещалась аналогичная таблетка из чистого KBr. В качестве эталонов при измерении волновых чисел использованы полистирол и газообразный аммиак.

### ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ

Размер слагающих «скарноиды» минеральных индивидов не превышает десятых долей миллиметра, а редких мономинеральных агрегатов – первые миллиметры. Изучение их состава осложнено тем, что многие фазы являются реликтовыми и в значительной степени замещены вторичными гидратными минералами. В скарноидах присутствуют минералы, минеральные группы и ассоциации, сформировавшиеся на разных стадиях эволюционного преобразования вещества ксенолита. На первом этапе изучения для описания минералов нами принята наиболее простая схема их деления – по времени образования и местоположению по отношению к контакту ксенолит – лава: 1 – минералы,

сформировавшиеся в ксенолите на ранней, высокотемпературной стадии; 2 – минералы, замещающие высокотемпературную минеральную ассоциацию; 3 – группа контактовых минералов. К минералам ранней высокотемпературной ассоциации отнесены: бредигит, ларнит, геленит, ранкинит, мервинит, спуррит, волластонит, рондорфит, шпинель, сребродольскит. К поздней ассоциации отнесены: гидрокалюмит; катоит; кальциевые гидросиликаты; слоистые гидросиликаты и поздние карбонатные прожилки. При контактовых минералах: лейцит; нефелин, оливин, диопсид и шорломит.

Бредигит  $\text{Ca}_7\text{Mg}[\text{SiO}_4]_4$  – редко встречающийся высокотемпературный ортосиликат Ca и Mg, описан в мире всего в нескольких местах, где отмечается в качестве примеси или акцессорного минерала. В изученных «скарноидах» бредигит присутствует в виде бесцветных субизометричных зерен (иногда с заметным полисинтетическим двойникованием), контактирующих с геленитом (фото 1) или содержащих его в виде включений (фото 2), либо наблюдается в виде корродированных, реликтовых зерен размером от 50 до 400 мкм, замещающихся гидросиликатами кальция. Выделяясь одним из первых, он встречается с минералами высокотемпературного парагенезиса: геленитом, ларнитом, мервинитом (фото 3), шпинелью. В отдельных зонах он является преобладающим минералом. Содержит небольшую «примесь» Fe, частично замещающего Mg (табл. 1).

Ларнит  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  – редко встречающийся высокотемпературный ортосиликат кальция, метастабилен ниже  $\sim 680^\circ\text{C}$ . Является индекс-минералом ларнит-мервинитовой субфации, санидиновой фации метаморфизма. Присутствует в виде бесцветных субизометричных полисинтетически сдвойникованных кристаллов размером до 100–200 мкм. Часто реликтовый, замещается кальциевыми гидросиликатами. Характерны ларнит-геленитовые агрегаты. Встречается совместно с бредигитом, мервинитом и спёрритом (фото 3). Исследованные кристаллы ларнита (табл. 2) содержат небольшую «примесь» глинозема. Минерал диагностирован по составу и рентгенограмме.

Геленит  $\text{Ca}_2\text{Al}[(\text{Si},\text{Al})\text{O}_7]$  – высокотемпературный минерал, образует непрерывный изоморфный ряд с акерманитом  $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7]$ . В исследованных «скарноидах» является распространенным минералом и присутствует в виде коротко-призматических кристаллов с прямоугольным сечением, размером до 50 мкм и их агрегатов, размером до 100–200 мкм, содержащих кристаллы шпинели. Отмечен в виде включений в кристаллах бредигита (фото 2), ларнита, мервинита, в сростаниях с ними и в виде цепочек более мелких кристаллов (до 20 мкм), ориентированных вдоль зерен бредигита. Обычно замещается тонкозернистым гидрокалюмитовым агрегатом с образованием псевдоморфоз. Минерал диагностирован по составу. Содержит (табл. 3) небольшое количество минала акерманита. Геленит, отмеченный в виде включений в других минералах, более магнезиален (около 2 % MgO), чем геленит, образующий цепочки и скопления более мелких зерен (около 1–1,5 % MgO). Все исследованные разновидности содержат примесь железа (около 1,85–2,87 % FeO). Замещается гидрокалюмитом и катоитом.

Мервинит  $\text{Ca}_3\text{Mg}[\text{SiO}_4]_2$  – высокотемпературный ортосиликат Ca и Mg. Индекс-минерал ларнит-мервинитовой субфации, санидиновой фации метаморфизма. Присутствует в виде корродированных кристаллов размером до 100 × 200 мкм в ассоциации с бредигитом, геленитом, лар-

Таблица 1

Химический состав бредигита и мервинита (мас.%)

	Бредигит			Мервинит		
SiO <sub>2</sub>	35.02	35.28	34.95	36.17	36.66	35.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.16	0.13	0.19	0.11	0.13
FeO	0.68	0.66	0.93	0.78	0.89	0.56
MnO		0.17	0.11			
MgO	5.51	5.45	5.28	11.83	11.76	11.63
CaO	57.55	57.72	57.55	51.14	51.77	50.93
Na <sub>2</sub> O		0.17	0.17	0.11		
K <sub>2</sub> O	0.06		0.06		0.06	
Сумма	99.02	99.59	99.18	100.22	101.25	98.81
Ca	7.04	6.99	7.01	3.01	3.01	3.03
Na		0.04	0.04	0.01		
Σ(Ca,Na)	7.04	7.03	7.06	3.02	3.01	3.03
Fe <sup>2+</sup>	0.06	0.06	0.09	0.04	0.04	0.03
Mg	0.94	0.92	0.90	0.97	0.95	0.97
K	0.01		0.01		0.00	
Mn		0.02	0.01			
Σ(Fe,Mg,K,Mn)	1.01	1.00	1.01	1.01	0.99	1.00
Si	3.97	3.99	3.97	1.98	1.99	1.98
Al	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Σ(Si,Al)	4.00	4.01	3.99	1.99	2.00	1.99

Примечание. База расчета формулы бредигита – 16 атомов O, мервинита – 8 атомов O.



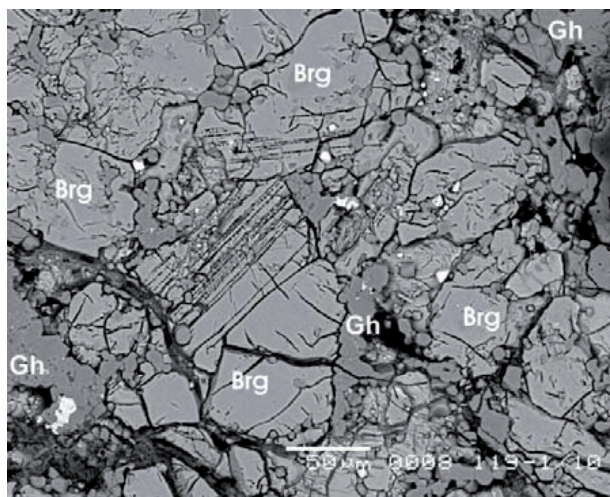


Фото 1. Бредигит (Brg), геленит (Gh)

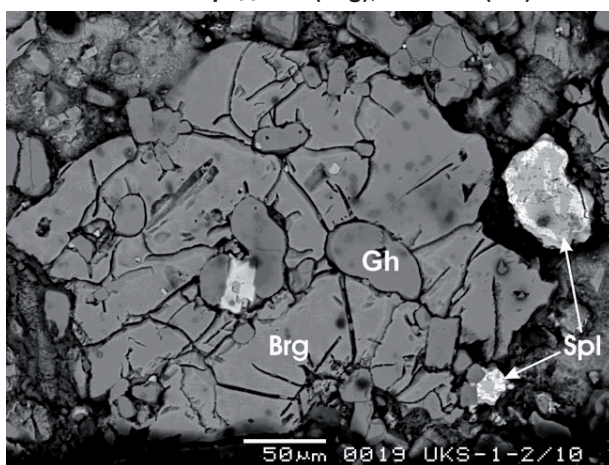


Фото 2. Бредигит (Brg), геленит (Gh), шпинель (Spl)

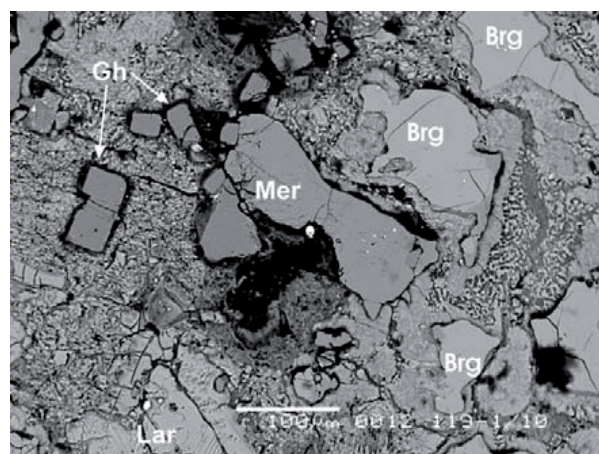


Фото 3. Реликты бредигита (Brg), мервинита (Mer), ларнита (Lar), геленита (Gl)

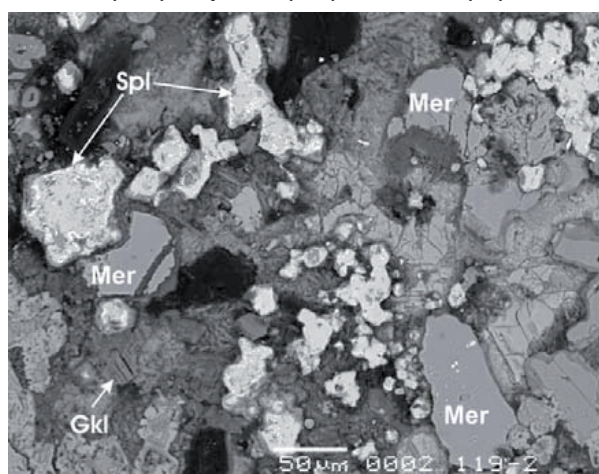


Фото 4. Мервинит (Mer), шпинель (Spl), гидрокалюмит (Gkl)

нитом, шпинелью (фото 3, 4). Встречается реже остальных минералов высокотемпературной ассоциации. Диагностирован по составу (табл. 1). Как и бредигит, мервинит содержит небольшую «примесь» Fe, частично замещающего Mg, и незначительную «примесь» глинозема.

**Спёррит**  $\text{Ca}_8[\text{SiO}_4]_2(\text{CO}_3)$  – высокотемпературный ортосиликат с добавочной карбонатной группой. В исследованных «скарноидах» является распространенным минералом. Встречается в виде субизометричных до 50 мкм и таблитчатых, заметно корродированных зерен размером до 200 мкм. Отмечается в виде мономинеральных агрегатов, слагающих существенно спёрритовые зоны (фото 6), и в ассоциации с ларнитом и геленитом (фото 5). Диагностирован по составу (табл. 4). Замещается кальциевыми гидросиликатами.

**Ранкинит**  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$  – высокотемпературный диортосиликат кальция, образующийся при более низком отношении  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ , чем ларнит, спуррит и бредигит. Встречен в «скарноиде» вблизи инъекций кварца. Отмечается в виде отдельных бесцветных зерен с характерным силь-

ным блеском, размером до 200 мкм и в виде агрегатов этих зерен (фото 6). Диагностирован по составу (табл. 2) и оптическим характеристикам (оптически положительный,  $2V \sim 50^\circ$ ,  $n_p = 1,642$  (3),  $n_m = 1,643$  (3),  $n_g = 1,651$  (3)).

**Волластонит**  $\text{CaSiO}_3$  образуется при более низком отношении  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ , чем выше перечисленные минералы. Присутствует в виде удлиненно-призматических кристаллов размером до  $100 \times 300$  мкм и скоплений более мелких зерен в приконтактных зонах (дацит – ксенолит) в присутствии кварца, кальцита и стекла (фото 8, 9). В частном случае отмечен между кварцем и ранкинитом, что отражает градиент  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  в данной «точке». Кроме того, волластонит встречается в мелких ксенолитах (рис. 2) и обломках мраморизованных известняков в районе вулкана Келли. Диагностирован по составу (табл. 2), рентгенограмме и оптическим характеристикам.

**Рондорфит**  $\text{Ca}_8\text{Mg}[\text{SiO}_4]_2\text{C}_{12}$  – высокотемпературный минерал, описан только в ксенолитах вулкана Bellerberg (Эйфель, Германия) и г. Лакарги (Кабардино-Балкария). Встречен в не-



большом количестве в ксенолите Uks (рис. 1) на северо-западном склоне вулкана Шадил-хох. Образует хорошо различимые в образце блестящие, субизометричные кристаллы разных оттенков медового цвета размером до ~ 300–500 мкм и овальные, менее блестящие сростки до 2 × 3 мм. Диагностирован по ИКС и оптическим характеристикам. Изотропный,  $n = 1,678$  (3). Показатель преломления шадилхохского рондорфита немного выше, чем у немецкого голотипа ( $n = 1,67$ ), но ниже, чем у родорфита из Лакарги ( $n = 1,694$  (2)). Минерал не встречен в шлифах. Его состав и причина изменения показателя преломления пока не установлены.

**Железо-алюминиевая шпинель** присутствует в виде мелких кристаллов размером до 100 мкм и их скоплений (до ~1мм). Ассоциирует с бредигитом, ларнитом, геленитом (фото 2), встречается в виде включений в этих минералах. Наиболее крупные кристаллы шпинели имеют зональное строение: внутренние их области слагает железистая шпинель «плеонаст» ( $Al > Fe$ ), внешние каемки – алюминиевый магнезиоферрит ( $Fe > Al$ ). Границы зон постепенные.

**Сребродольскит** – представитель непрерывного изоморфного ряда ферритов и алюминатов кальция сребродольскит  $Ca_2Fe^{+3}_2O_5 - Ca_2(Al,Fe^{+3})_2O_5$  браунмиллерит. Наблюдается в виде субизометричных и призматических кристаллов размером 10–20 (max 100) мкм, ассоциирующих с геленитом, шпинелью, ларнитом. В проходящем свете это анизотропные кристаллы, разных оттенков коричневатого цвета. На одних участках скарна присутствует почти чистый сребродольскит ( $Ca_{1,97}Mn_{0,02/1,99}(Fe^{3+}_{1,9}Si_{0,02/2,00}O_5)$  (фото 6), а на других – промежуточный член ряда сребродольскит-браунмиллерит ( $Ca_{1,99}Mn_{0,01/2,00}(Fe^{3+}_{1,29}Al_{0,53}Ti_{0,08}Si_{0,05}Mg_{0,02})_{1,9}O_5$  (фото 7).

**Гидрокалюмит**  $Ca_2Al(OH)_6[Cl_x(OH)_x] \cdot 3(H_2O)$  – редкий сложный гидроокисел переменного состава, но широко распространенный в описываемых скарнах как вторичный минерал. Образует тонкозернистые псевдоморфозы по гелениту и выполняет микропрожилки и отдельные индивиды до 20 мкм. Диагностирован по составу. Содержит Cl (от 3,4 до 4,1 %) и иногда незначительную примесь  $SO_2$ .

**Катонит**  $Ca_3Al_2(Si_{4-x}O_{4-x})(OH)_{4x}$  ( $x=1,5-3$ ) – редкий «гидрогроссуляр», в котором в предельной степени кремний замещен гидроксильными группами. Чаще всего встречаются «гидрогроссуляры» с относительно небольшой степенью замещения, т. н. «гибшиты». В

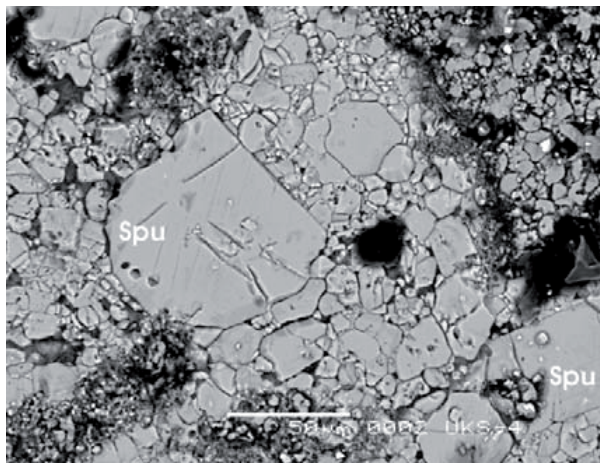


Фото 5. Сперрит

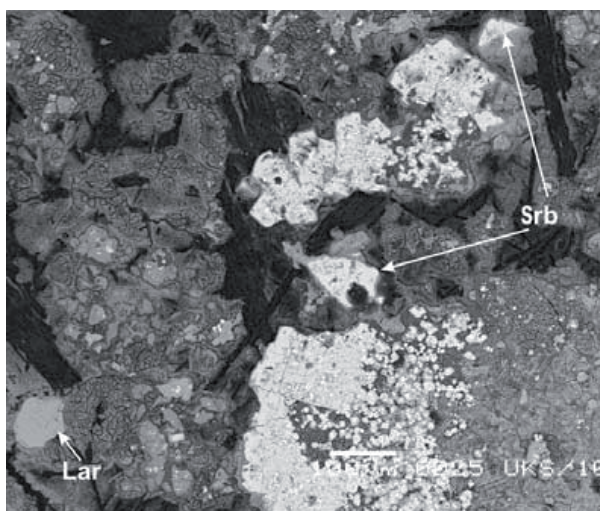


Фото 6. Сребродольскит (Srb), ларнит (Lar)

Таблица 2

Химический состав ларнита, ранкинита, волластонита, ксонотлита (мас.%)

	Ларнит		Ранкинит	Волластонит	
SiO <sub>2</sub>	34.67	34.11	40.08	50.63	50.98
TiO <sub>2</sub>					0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15	0.18	0.18	0.21	0.19
FeO			0.14	0.17	0.98
MnO					0.20
MgO			0.13	0.16	0.31
CaO	65.25	64.45	57.22	47.63	46.42
K <sub>2</sub> O				0.19	0.08
Сумма	100.07	98.74	97.75	98.99	99.26
Si	0.99	0.99	1.97	0.99	1.00
Al	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Fe <sup>2+</sup>			0.01	0.00	0.02
Mg			0.01	0.01	0.01
Ca	2.00	2.01	3.02	1.00	0.97
K				0.01	0.00

Примечание. База расчета формулы ларнита – 4 атома O, ранкинита – 7 атомов O, волластонита – 3 атома O, ксонотлита (Si+Al=6).



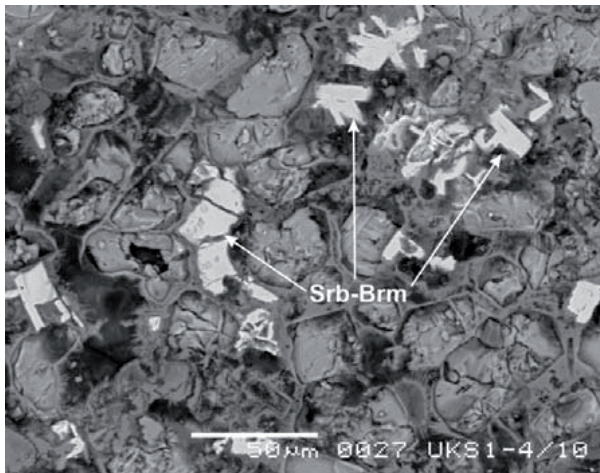


Фото 7. Алюмосодержащий промежуточный член, ряда сребродольскит (Srb)-браунмиллерит (Brm)

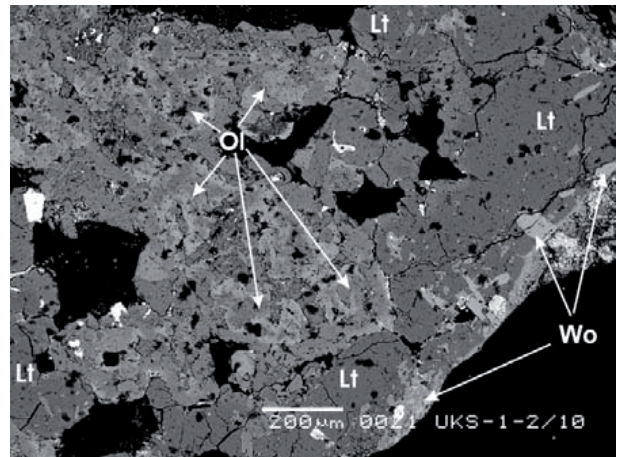


Фото 10. Лейцит(Lt), оливин(Ol), волластонит (Wo)

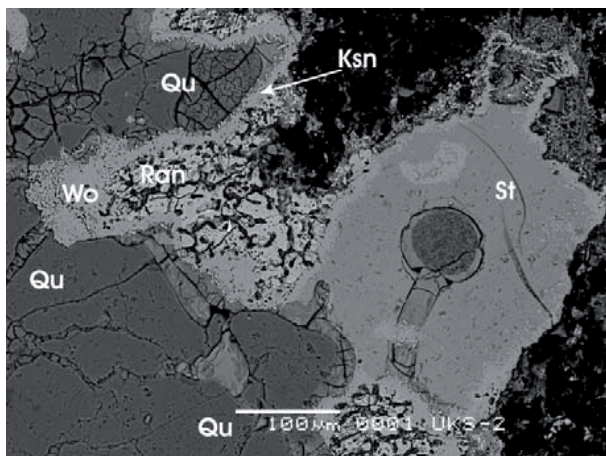


Фото 8. Кварц (Qu), стекло (St), волластонит (Wo), ранкинит (Ran), ксонотлит (Ksn)

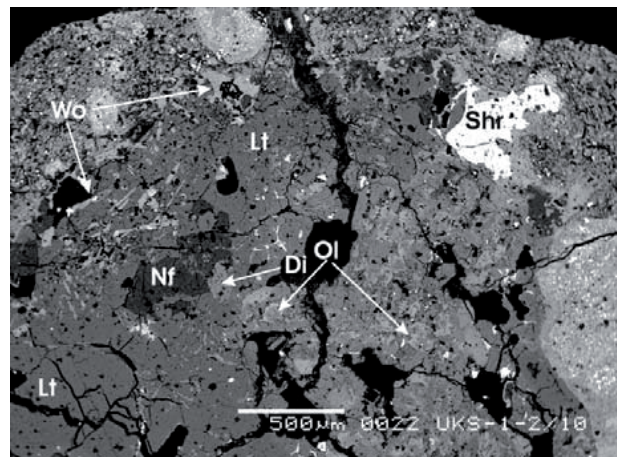


Фото 11. Лейцит(Lt), оливин (Ol), нефелин (Nf), диопсид (Di), шорломит (Shr), волластонит (Wo)

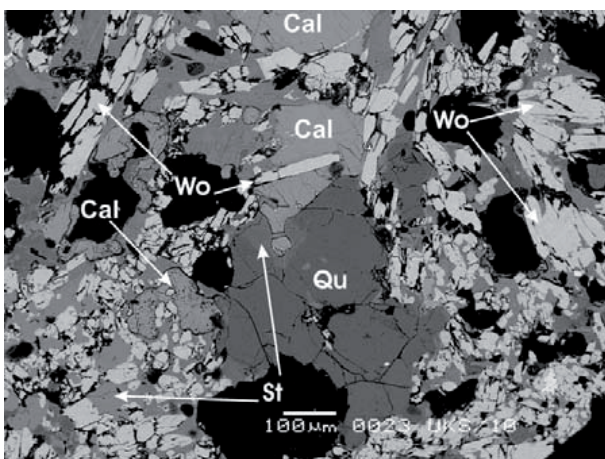


Фото 9. Кварц (Qu), стекло (St), кальцит (Cal), волластонит (Wo)

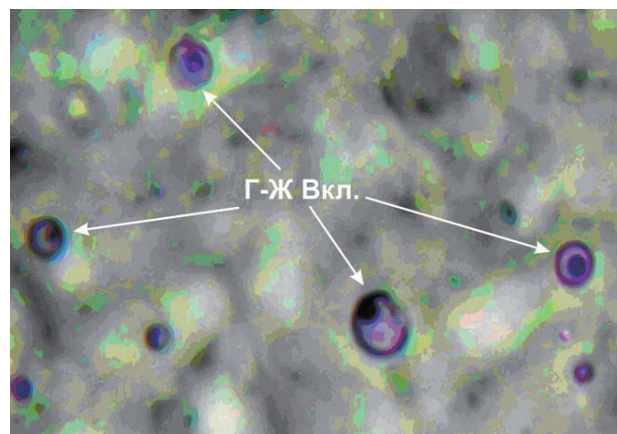


Фото 12. Первичные газово-жидкие включения

нашем случае встречен именно катоит, который присутствует в виде мелких зерен размером до 100 мкм в продуктах замещения геленита. Симптоматично, что в анализе минерала присутствует  $SO_2$ , как и в анализе голотипа. Эмпирическая

формула шадилхохского катоита приведена в примечаниях к табл. 5.

Кальциевые гидросиликаты – широко распространенная в описываемых породах группа минералов, которые образуют каемки вокруг

ранних кальциевых силикатов и выполняют многочисленные микропрожилки и каверны. По составу диагностирован ксенолит  $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$ . Образует микронного размера игольчатые кристаллы, замещает волластонит. Методом ИК-спектроскопии диагностирован пломбиерит  $\text{Ca}_{4.5}\text{Si}(\text{O},\text{OH})_{18} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n \sim 7$ ). Это семейство минералов требует более глубокого изучения, т. к. предварительные результаты позволяют говорить о том, что список этих минералов здесь достаточно обширный.

*Слоистые гидросиликаты* отмечаются в виде примазок и микропрожилков, образованных скоплением тонкодисперсной фазы темно-зеленого цвета. Методом ИК-спектроскопии установлено, что это слоистый, плохо раскристаллизованный (вплоть до аморфного) гидросиликат. Слоистым, вероятно, является и найденный нами гидросиликат с упрощенной эмпирической формулой  $\text{K}_{0.5}\text{Ca}_3[\text{Si}_8(\text{O},\text{OH})_{20}] \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , напоминающей формулу апофиллита (КОН)  $\text{KCa}_4[\text{Si}_8\text{O}_{20}](\text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Минерал тонкодисперсный, развивается по богатому калием силикатному стеклу и требует дальнейшего изучения.

Контактные минералы встречаются в узкой (первые миллиметры) зоне на границе ксенолита с плагиодацитом и представлены: лейцитом, нефелином, оливином, шорломитом. Все минералы диагностированы по составу (табл. 5). Кроме того, здесь отмечены распространенные в дацитах минералы магматического генезиса: плагиоклаз, кварц, пироксен, включая и стекло.

*Лейцит*  $\text{KSi}_2\text{AlO}_6$  присутствует в виде ксеноморфных кристаллов размером до 2–4 мм, ассоциирующих с нефелином и оливином, диопсидом и волластонитом. Слагает микрозону, непосредственно примыкающую к границе ксенолита (фото 10, 11).

*Нефелин*  $(\text{Na},\text{K})\text{SiAlO}_4$  – редкие ксеноморфные включения в лейците, размером до 400 мкм. Иногда в сростаниях с диопсидом (фото 11).

*Оливин*  $(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$  – встречается в виде субизометричных, заметно зональных микрокристаллов размером до 200 мкм, внутренние части которых более магниевые, а внешние более железистые (табл. 5; фото 10, 11).

*Диопсид*  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  – мелкие призматические кристаллы размером до 100 мкм. Иногда встречается в виде включений в лейците, совместно с нефелином (фото 11).

*Шорломит*  $\text{Ca}_3(\text{Ti},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Fe})_3\text{O}_{12}$  встречается здесь в виде единичных кристаллов размером до 500 мкм, содержащих небольшую «примесь»

Таблица 3

## Химический состав геленита (мас.%)

SiO <sub>2</sub>	24.76	24.27	22.29	22.74
TiO <sub>2</sub>			0.30	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.4	31.37	34.40	33.51
FeO	2.87	2.6	2.42	2.42
MnO				0.09
MgO	2.13	1.93	0.92	1.18
CaO	40.72	40.81	40.44	40.54
K <sub>2</sub> O		0.06	0.08	
SO <sub>3</sub>			0.13	
Сумма	100.88	101.04	100.49	100.49
Ca	4.01	4.01	3.99	4.00
K		0.01	0.01	
Σ(Ca,K)	4.01	4.02	4.00	4.00
Al	1.56	1.61	1.76	1.73
Mg	0.29	0.26	0.13	0.16
Fe <sup>2+</sup>	0.22	0.20	0.17	0.19
Ti			0.02	
Mn				0.01
Σ(Al,Mg,Fe,Ti,Mn)	2.07	2.07	2.08	1.99
Si	2.27	2.22	2.04	2.09
Al	1.73	1.78	1.96	1.19
Σ(Si,Al)	4.00	4.00	4.00	4.00
S			0.01	

Примечание. База расчета формулы 14 атомов O.

ZrO<sub>2</sub> (фото 11). Ранее на территории Южной Осетии шорломитовые кристаллы размером до 1–2 мм нами были обнаружены в микрополостях третичных лав трахиандезито-базальтового состава в междуречье рек Большая и Малая Лихва, диагностирован по рентгенограмме, и высокотитановые андрадиты (11 % TiO<sub>2</sub>) обнаружены в скарнах Лопанисцхали.

*Кварц*. SiO<sub>2</sub> отмечается в единичных случаях, в виде линзовидной инъекции, внедрившейся в

Таблица 4

## Химический состав сперрита (мас.%)

SiO <sub>2</sub>	26.59	27.42	26.83	26.73	26.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.12	0.17		0.14
Na <sub>2</sub> O				0.12	0.11
CaO	62.2	62.71	62.75	62.03	62.81
K <sub>2</sub> O		0.07			0.07
SO <sub>3</sub>			0.13		0.14
CO <sub>2</sub>	9.77*	9.95*	9.89*	9.77*	9.89*
Сумма	98.69	100.27	99.77	98.65	99.90
Si	1.99	2.02	1.99	2.00	1.98
Al	0.01	0.01	0.02		0.01
Ca	5.00	4.95	4.98	4.98	4.99
Na				0.02	0.02
K					0.01
S			0.01		0.01
CO <sub>2</sub>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Примечание. База расчета формулы – 11 атомов O; (\*) добавлено из расчета на 1 группу CO<sub>2</sub>.



кальцит. Размер линзовидных обособлений до 3 × 10 мм, отдельных зерен до 0,5 мм. Ассоциирует со стеклом. Содержит обильные, относительно крупные, первичные газово-жидкие включения (фото 12), которые встречаются также в кальците и в стекле.

Силикатное стекло присутствует в виде субизометричных обособлений размером 50–350 мкм, контактирующих с кварцем и карбонатом (фото 8, 9). Состав стекла (масс., %) колеблется в широких пределах: SiO<sub>2</sub> = 70,8–80,8, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,1–12,2. CaO = 1,3–6,7; Na<sub>2</sub>O = 0,8–2,6. K<sub>2</sub>O = 0,4–17,2. Оксиды Fe, Mg, Ti, в сумме не превыша-

ют 1–2 %. В некоторых случаях в обособлениях стекла отмечаются удлиненные микрокристаллические включения волластонита.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Настоящая публикация освещает первые результаты изучения скарноидных новообразований апокарбонатных ксенолитов, встреченных пока только на локальном участке (на вулкане Шадил-хох) в Кельском вулканическом районе. Обнаруженные здесь породы бредигит-геленит-ларнитового состава можно характеризовать как высокотемпературные известковые скарноиды.

Таблица 5

**Химический состав лейцита, нефелина, оливина, диопсида, шорломита и катоита (мас.%)**

	Лейцит		Нефелин	Оливин (ядро)	Оливин (кайма)	Диопсид	Шорломит	Катоит
	54.27	55.04						
SiO <sub>2</sub>	54.27	55.04	44.57	39.04	37.11	53.84	26.4	11.10
TiO <sub>2</sub>						0.16	17.44	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.74	22.77	32.92			0.34	0.98	27.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							20.99	
FeO	0.59	0.56	0.75	18.75	27.22	6.14		1.29
MnO				0.50	0.98	0.19	0.39	
MgO				41.09	33.4	15.36	0.93	0.14
CaO		0.09	0.22		0.23	22.00	30.65	41.92
Na <sub>2</sub> O	0.11		15.79			1.18	0.34	
K <sub>2</sub> O	21.24	21.28	6.88					0.1
ZrO <sub>2</sub>							1.2	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>							0.55	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				0,15				0.11
SO <sub>3</sub>								0.49
Cl								1.07
OH								18.53*
-O=Cl <sub>2</sub>								-0.24
Сумма	98.95	99.74	101.13	99.64	98.95	99.21	99.87	102.21
Si	2.00	2.01	1.06	1.00	1.00	2.00	2.233	0.73
Ti							1.109	0.01
Al	0.99	0.98	0.92			0.02	0.098	2.12
Fe <sup>3+</sup>							1.336	
Fe <sup>2+</sup>	0.02	0.02	0.02	0.40	0.62	0.19	0.000	0.07
Mn				0.01	0.02	0.01	0.028	
Mg				1.57	1.35	0.85	0.117	0.01
Ca		0.00	0.01	0.00	0.01	0.88	2.778	2.99
Na	0.01		0.73			0.09	0.056	
K	1.00	0.99	0.21					0.01
Zr							0.057	
P							0.039	
Cr				0.00			0.000	0.01
S								0.03
Cl								0.03
OH			44.57					8.24

*Примечание.* База расчета формул лейцита и диопсида 6 атомов O; нефелина и оливина – 4 атома O, шорломита – 12 атомов O, катоита – OH+O=12; (\*) добавлено из расчета.  
 Катоит: Ca<sub>2,99</sub>(Al<sub>1,89</sub>Fe<sub>0,01</sub>Mg<sub>0,01</sub>Ti<sub>0,01</sub>Cr<sub>0,01</sub>K<sub>0,01</sub>)<sub>2</sub>[(Si<sub>0,73</sub>Al<sub>0,23</sub>S<sub>0,02</sub>)<sub>0,96</sub>(OH<sub>8,24</sub>Cl<sub>0,03</sub>)<sub>8,27</sub>O<sub>3,63</sub>]<sub>12</sub>

Особенностью этих пород является присутствие в породообразующих количествах редкого низкомагниевого силиката кальция (бредигита), встречающегося совместно с ларнитом, сперритом, ранкинитом и более магнезиальным силикатом кальция – мервинитом. Высокотемпературные минералы замещаются более низкотемпературными вторичными минералами: пломбиеритом, катоитом, гидрокальюмитом, ксонотлитом и слоистыми гидросиликатами.

В составе «скарноидов», связанных с вулканидами, обычно присутствуют минералы, содержащие летучие элементы: F, Cl, S, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. В изученных ксенолитах минералов с фтором пока не обнаружено. Единственным ранним минералом хлора является рондорфит. Обилие в скарне хлорсодержащего гидрокальюмита указывает на то, что, по-видимому, были и другие хлорсодержащие фазы. Широко представлены поздние гидратные минералы, и в то же время пока не выявлены характерные для самых поздних стадий сульфатсодержащие минералы, такие как минералы группы этрингита.

Важна находка силикатных стекол как субщелочного, так и более кислого составов. Как тенденция, замечено, что стекла, имеющие большую поверхность контакта с кварцем, имеют более кислый состав. В стеклах, имеющих большую поверхность контакта с кальцийсодержащими минералами, понижается содержание кремния и существенно возрастает содержание калия (требует дополнительного изучения). Также отмечено, что в обособлениях стекла присутствуют удлиненные микрокристаллы волластонита. Эти факты свидетельствуют о том, что стекло играет существенную роль в процессе высокотемпературного метасоматоза при образовании подобных пород.

Контактные минералы встречены в узкой (первые миллиметры) зоне на границе ксенолита и лавы. Они представлены не типичными для дацитов лейцитом, нефелином, оливином и диопсидом, обычно характерными для основных и щелочных пород. Появление этих минералов, вероятно, происходит при участии остаточного расплава, который соответствует стеклу основной массы – субстрат, склеивающий микролиты полевого шпата, пироксена и магнетита. По-видимому, на контакте с карбонатным ксенолитом понижается содержание кремния и резко возрастает содержание калия. Подобные изменения состава остаточных стекол отмечены выше. С чем связано повышение содержания магния, остается пока невыясненным, возможно, он был привнесен из ксенолита, в котором присутствуют реликтовые магнийсодержащие минералы – мервинит и бредигит. Раскристаллизации этого участка способствовала повышенная концентрация флюи-

да, реликты которого обнаружены в скарноиде в виде первичных газовой-жидких включений, наблюдаемых в кварце, кальците и стекловатой фазе, контактирующей с этими минералами.

Появление кварцевых инъекций в скарноидах, наличие первичных газовой-жидких включений в минералах ксенолита указывают на высокие концентрации флюида. В то же время узость зоны контактовых изменений и свежий облик вулканидов свидетельствует о местной локализации этих повышенных концентраций флюидного раствора. Каков источник этих флюидных концентраций – вулканиды или осадочная порода – остается пока невыясненным. Кроме того, в ходе начального этапа изучения ксенолитов вулкана Шадил-Хох обнаружены кристаллические фазы, которые пока не удалось однозначно идентифицировать, что обусловлено их размерами и тесными агрегатными срастаниями с другими минералами. Структурные и кристаллохимические особенности строения данных фаз, как и фаз с составами, отличающимися от известных, будут изучены в дальнейшем с представлением результатов в отдельных публикациях.

Изученные нами ксенолиты вулкана Шадил-хох содержат большое количество редких высокотемпературных метасоматических минералов. По нашему мнению, подобные ксенолиты могут быть обнаружены в Кельском вулканическом районе в значительных количествах и на других вулканах. На это указывает благоприятная геологическая обстановка, а именно: большое количество вулканических центров и широкое развитие в фундаменте вулканических построек карбонатных пород. В связи с этим Кельский вулканический район можно считать еще одним центром, сопоставимым с известными минералогическими «заповедниками», такими как Лаахерзее (Германия), Хатрурим (Израиль), Лакарги (Кабардино-Балкарии).

Находки в лавах ксенолитов скарнированных мергелей и известняков с высокотемпературными метасоматическими минералами и наложенными на них более низкотемпературными процессами важны по многим причинам, в частности для оценки рудоносности района. Известно, что со скарнами часто связана рудная минерализация. Судя по геологическому строению Кельского вулканического района и составу цоколя (в разрезе преобладают карбонатные породы), вполне вероятно, что на незначительной глубине вокруг подводящих каналов вулканов и в кровлях приповерхностных магматических камер могли широко проявиться процессы скарнирования, о чем свидетельствуют найденные нами ксенолиты скарноидов. Поэтому еще



одной нашей первоочередной задачей предстоящих исследований будет целенаправленное опробование и геохимическое изуче-

ния скарноидов, для получения объективной информации о содержаниях в них ряда рудных, редких и рассеянных элементов.

Авторы выражают благодарность докторам ф.-м. н. А.Г. Кусраеву (Владикавказский научный центр РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания) и Н.В. Чуканову (ИПХФ РАН, Черноголовка) за помощь в организации экспедиции, а также сотрудникам лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова за помощь в изучении минералов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов П.Б. Мраморы Грузии // Труды института геологических наук. Вып. 34. Петрографическая серия № 12. – Ленинград: Изд. АН СССР, 1940. 45 с.
2. Газеев В.М., Задов А.Е., Гурбанов А.Г., Перцев Н.Н., Мохов А.В., Докучаев А.Я. Редкие минералы Верхнечегемской кальдеры (в ксенолитах скарнированных известняков из игинбриотов) // Вестник Владикавказского научного центра, 2006. № 1. С. 18–27.
3. Galuskin E.V., Gazeev V.M., Armbruster Th., Zador A.E., Galuskina I.O., Pertsev N.N., Dzierzanowski P., Kadiyski M., Gurbanov A.G., Wrzalik R., Winiarski A. Lakargiite  $\text{CaZrO}_3$ : a new mineral of the perovskite group from the North Caucasus, Kabardino-Balkaria, Russia // *Amer. Miner.* 2008. V. 93. P. 1903–1910.
4. Galuskina I.O., Lazic B., Armbruster T., Galuskin E.V., Gazeev V.M., Zador A.E., Pertsev N.N., Ježak E., Wrzalik R., Gurbanov A.G. Kumtyubeite  $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$  – a new calcium mineral of the humite group from Northern Caucasus, Kabardino-Balkaria, Russia // *Amer. Miner.* 2009. V. 94. P. 1361–1370.
5. Galuskin E.V., Gazeev, V.M. Lazic B., Armbruster T., Galuskina, I.O., Zador A.E., Pertsev N.N., Wrzalik R., Dzierzanowski P., Gurbanov A.G., Bzowska G. Chegemite  $\text{Ca}_7(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})_2$  – a new humite-group calcium mineral from the Northern Caucasus, Kabardino-Balkaria, Russia // *Eur. J. Miner.* 2009. V. 21. P. 1045–1059.
6. Galuskina I.O., Galuskin E.V., Armbruster T., Lazic B., Dzierzanowski P., Gazeev V.M., Prusik K., Pertsev N.N., Winiarski A., Zador A.E., Wrzalik R., Gurbanov A.G. Bitikleite-(SnAl) and bitikleite-(ZrFe): New garnets from xenoliths of the Upper Chegem volcanic structure, Kabardino-Balkaria, Northern Caucasus, Russia // *Amer. Miner.* 2010a. V. 95. P. 959–967.
7. Galuskina I.O., Galuskin E.V., Armbruster T., Lazic B., Kusz J., Dzierzanowski P., Gazeev V.M., Pertsev N.N., Prusik K., Zador A.E., Winiarski A., Wrzalik R., Gurbanov A.G. Elbrusite-(Zr) – a new uranian garnet from the Upper Chegem caldera, Kabardino-Balkaria, Northern Caucasus, Russia // *Amer. Miner.* 2010b. V.95. P. 1172–1181.
8. Galuskina I.O., Galuskin E.V., Dzierzanowski P., Gazeev V.M., Prusik K., Pertsev N.N., Winiarski A., Zador A.E., Wrzalik R. Toturite  $\text{Ca}_3\text{Sn}_2\text{Fe}_2\text{SiO}_{12}$  – a new mineral species of the garnet group // *Amer. Miner.* 2010b. V. 95. P. 1305–1311.
9. Galuskin E. V., Galuskina I. O., Gazeev V. M., Dzierzanowski P., Prusik K., Pertsev N. N., Zador A. E., Bailau R., Gurbanov A.G. Megawite,  $\text{CaSnO}_3$ : a new perovskite-group mineral from skarns of the Upper Chegem caldera, Kabardino-Balkaria, Northern Caucasus, Russia // *Miner. Mag.* 2011b. V.75. P. 2563–2572.
10. Galuskin E.V., Armbruster T., Galuskina I.O., Lazic B., Winiarski A., Gazeev V.M., Dzierzanowski P., Zador A.E., Pertsev N.N., Wrzalik R., Gurbanov A.G., Janeczek J. Vorlanite  $(\text{CaU}_6+)\text{O}_4$  – a new mineral from the Upper Chegem caldera, Kabardino-Balkaria, Northern Caucasus, Russia // *Amer. Miner.* 2011a. V. 96. P. 188–196.
11. Galuskin E.V., Galuskina I.O., Lazic B., Armbruster T., Zador A.E., Krzykawski T., Banasik K., Gazeev V.M., Pertsev N.N. Rusinovite,  $\text{Ca}_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)_3\text{Cl}_2$ : a new skarn mineral from the Upper Chegem caldera, Kabardino-Balkaria, northern Caucasus, Russia // *Eur. J. Miner.* 2011b. V. 23.
12. Задов А.Е., Газеев В.М., Перцев Н.Н., Гурбанов А.Г., Гобечия Е.Р., Ямноев Н.А., Чуканов Н.В. Кальцооливин  $\gamma\text{-Ca}_2\text{SO}_4$ : старый и новый минеральный вид // ЗРМО. 2008. № 6. С. 46–57.
13. Задов А.Е., Газеев В.М., Каримова О.В., Перцев Н.Н., Пеков И.В., Галузкин Е.В., Галузкина И.О., Гурбанов А.Г. и др. Магнезионептунит  $\text{KNa}_2\text{Li}(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{Tl}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}$  – новый минерал группы нептунита // ЗРМО. 2011. № 1. С. 57–66.
14. Лебедев В.А., Вашакидзе Г.Т., Сахно В.Г. Потенциальная вулканическая опасность на Кельском нагорье (Большой Кавказ). В свете результатов изотопно-геохронологического изучения новейших лав // ДАН, Геохимия, 2008, том 418, № 4, с. 520–525.
15. Милановский Е.Е., Короновский Н.В. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. – М.: Недра, 1973. 280 с.
16. Станкевич Е.К. Новейший магматизм Большого Кавказа. – Л.: Наука, 1976. 232 с.

