

УДК 551.217.24; 549.1; 571.66

МИКРОЧАСТИЦЫ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ПЕПЛАХ КАРЫМСКОГО ВУЛКАНА

Г.А. Карпов¹, А.В. Мохов², К.А. Серегина¹

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

² *Институт геологии, минералогии и петрографии (ИГЕМ РАН), г. Москва*

Извержение Карымского вулкана, начавшееся 2 января 1996 г., продолжается поныне (30 марта 2005 г.). Как и предыдущие извержения [4], по механизму оно относится к вулкан-стромболианскому типу. Отличается многочисленными, иногда очень мощными, взрывами в центральном кратере и характеризуется большим объемом выбрасываемого газо-пеплового материала. Небольшая высота вулкана (около 1530 м) и благоприятная роза ветров (преимущественно в восточных и южных румбах) способствуют отложению пеплов на прилегающей местности, сравнительно легко доступной для посещения и отбора проб.

Уже в первых пробах пепла, отобранных нами и коллегами в 1996 г., удалось обнаружить мельчайшие частицы рудных минералов, среди которых были отмечены самородные железо, алюминий, а также магнетит, титаномагнетит, единичные зерна гематита и пирита [1]. В дальнейшем эти данные были подтверждены в пробах отборов 2001, 2002 гг. [2]).

Была замечена тенденция, выражающаяся в том, что в периоды активизации извержения, когда происходили особенно мощные взрывы, в пеплах обнаруживалось большое количество самородных железа, алюминия. В пеплах межпароксизмальных стадий извержения обычными были частицы гематита, причем чаще шаровидной формы, иногда такой же шаровидной формы частички вулканического стекла.

Частички самородного алюминия имеют самую разнообразную форму - от изометричных, пластинчатых, размером 50 x 350 микрон (рис. 1), до своеобразных

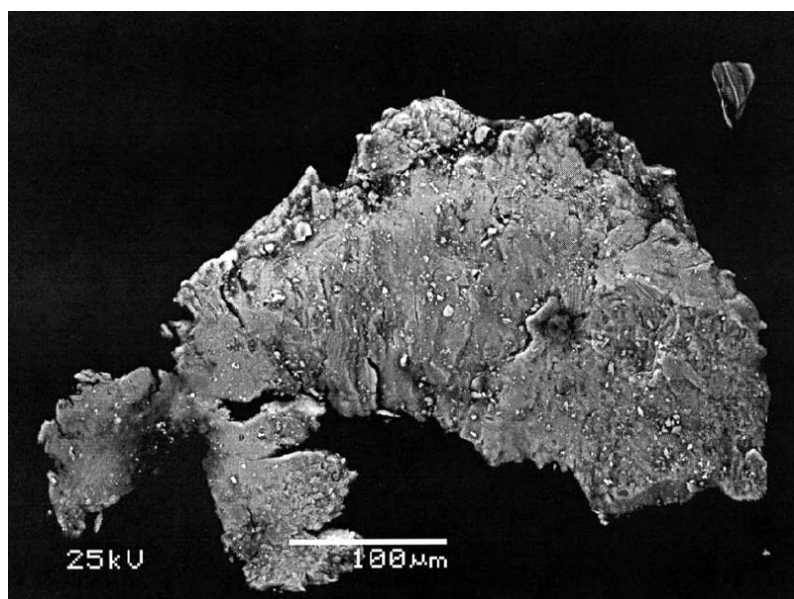


Рис. 1. Частичка самородного алюминия изометричной формы, электронный микроскоп JEOL-5300 (Япония).

закрученных удлиненных форм размером 30 x 160 микрон (рис. 2). Как видно из данных анализов (на рентгеновском энергодисперсионном спектрометре (ЭДС) марки Link ISIS, Великобритания), в спектре частиц алюминия отмечаются Mo и очень незначительные примеси Mg, Na, Zn, Cu, Si, O, C, K. Их могут давать примазки вулканического стекла. В

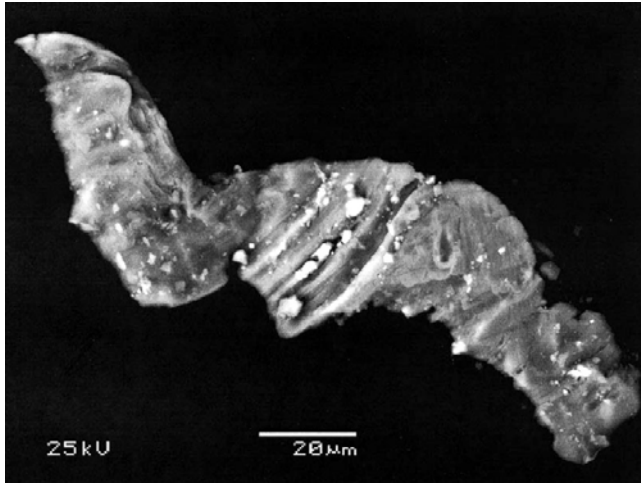


Рис. 2. Частица самородного алюминия удлиненно-закрученной формы под электронным микроскопом.

пробе 4586, представляющей собой пепел, отобраный 15.04.04 со снега с юго-восточного склона вулкана на высоте 847 м (20^я точка), обнаружены изометричные частички сульфида железа (видимо, пирита), в одной из которых отмечено зерно, которое по результатам анализа можно идентифицировать с самородным молибденом. В нем определено 80% вес. молибдена, 8,83% железа и 10,62% серы (рис. 3).

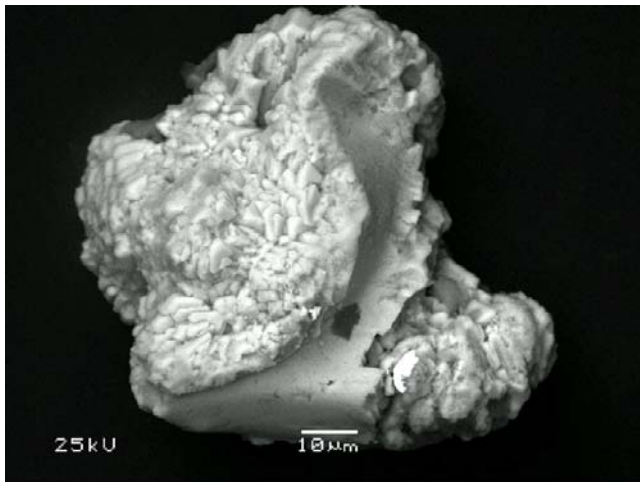
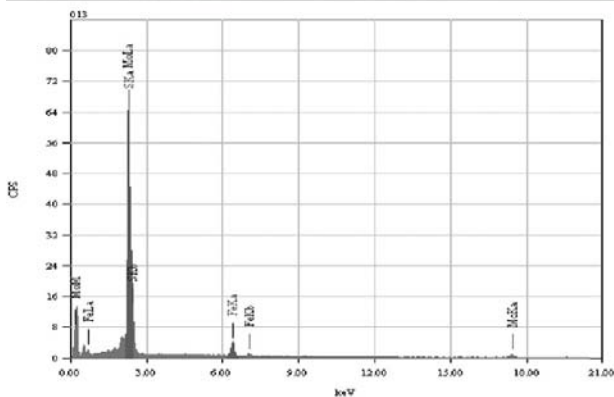


Рис. 3. Изометричная частичка самородного молибдена (овальное зерно белого цвета) в зерне сульфида железа (пирит), под электронным микроскопом. Внизу - энергодисперсионный спектр этой частички.



Следует отметить, что пирит является часто встречающимся минералом в пеплах Карымского вулкана. Так, в пробе пепла № 4585, отобранного 15.04.04 В.И.Андреевым на

правом берегу реки Карымской в 3.5 км от вулкана, встречено несколько зерен, в которых на поверхности стекловатой породы развита тонкая пленка пирита с характерным для этого минерала содержанием железа и серы: Fe - 45.82%, S - 52.61% (рис. 4, светлое - пирит).

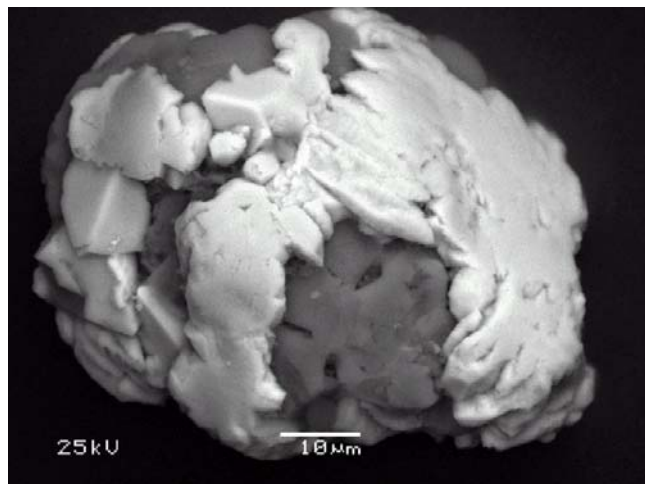


Рис. 4. Овальный агрегат ромбо-дипирамидальных кристаллов пирит-марказита (светлое) на зерне предположительно сульфата алюминия, под электронным микроскопом.

Иногда частицы представляют собой мелкозернистый агрегат зерен и содержат избыточное железо по отношению к сере (проба 4585). Реже встречаются изометричные частицы, в которых центральная часть сложена силикатной массой, а на ее поверхности развита тонкая пленочка окислов железа (проба 4586). Наряду с этими образованиями, довольно часто встречаются шаровидные и овальные агрегаты ромбо-дипирамидальных кристаллов пирит-марказита, практически без примесей (проба 4585, рис. 5).

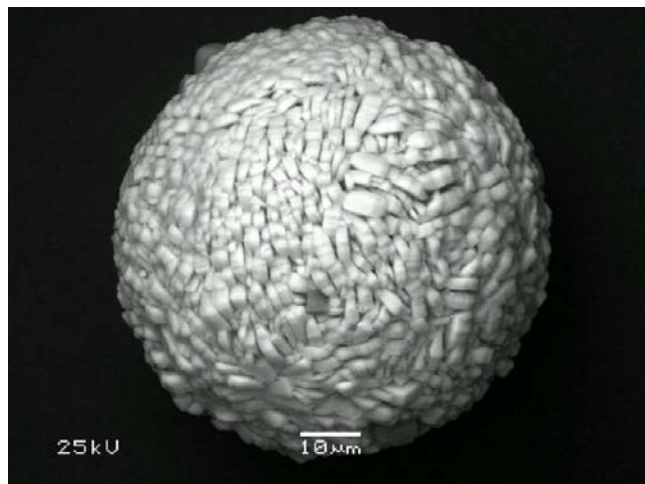


Рис. 5. Шаровидный агрегат ромбо-дипирамидальных кристаллов пирит-марказита, практически без примесей

В этой же пробе пепла (4585) обнаружено зерно, в стекловатой массе которого имеется изометричное включение, состоящее из смеси барита (?) и сфалерита (рис. 6).

Помимо этих минералов, в той же пробе 4585 встречены два зерна, размером до 100 микрон, в одном из которых наблюдается агрегат тонкопризматических кристаллов халькозина (Cu_2S) с примесью большого количества калия (до 16.11%) и хлора (до 3.58%). Судя по присутствию кислорода (до 35.5%) уже в гипергенных условиях происходило окисление халькозина с образованием куприта (Cu_2O), покрывающего частичку тонкой пленочкой (рис. 7). Другое зерно представляет собой угловатую частичку самородной меди, с небольшой примесью цинка (цинкистая медь - рис. 8), что довольно обычно для минерального комплекса базальтовых извержений. Например, цинкистая медь была отмечена С.Ф.Главатских на Северном прорыве Большого трещинного Толбачинского извержения.

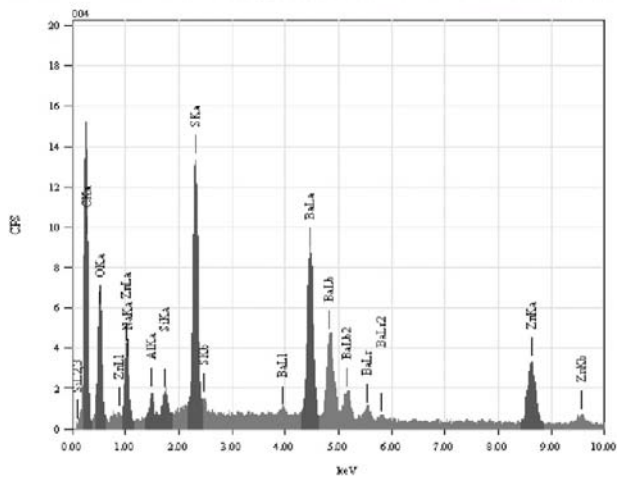
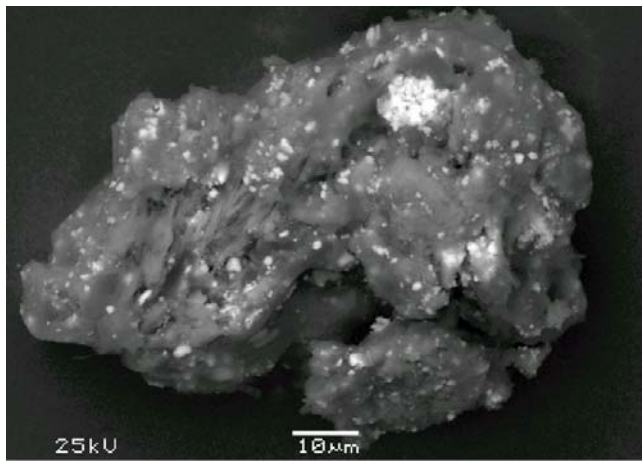


Рис. 6. Смесь барита и сфалерита (светлое) в стекловатой массе частички андезита, под электронным микроскопом. Внизу - энергодисперсионный спектр этой частички и породы.

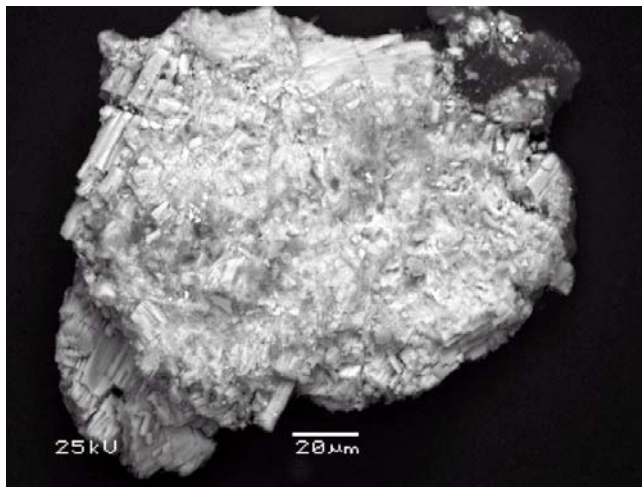


Рис. 7. Тонкопризматические кристаллы халькозина с примесью калия и хлора, под электронным микроскопом.

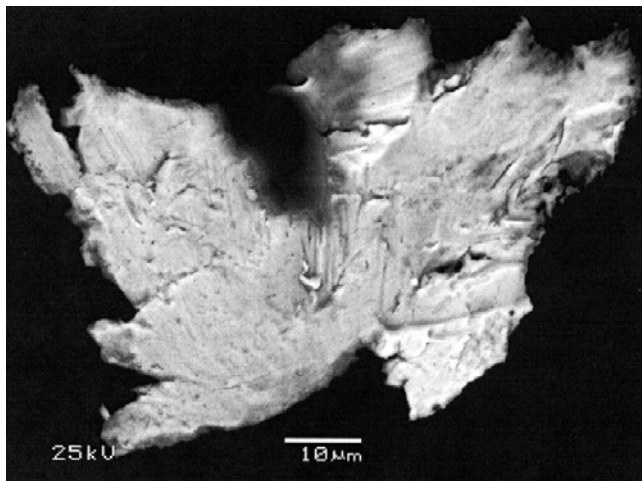


Рис. 8. Угловатая частичка цинкистой меди, под электронным микроскопом.

Обычными для пеплов Карымского вулкана являются и зерна титаномагнетита как крупные, так и мельчайшие. Обращает на себя внимание изометричная, округлая форма этих кристаллов. Создается впечатление, что они являются переотложенными, т.е. захваченными, или даже вырванными из первичного залегания, и были подвержены достаточно сильной окатывающей (корродирующей) обработке, например, при вращении в газовой-пепловой массе эруптивной колонны.

В пробе пепла, отобранного на восточном склоне в. Карымского в период активизации 15 июля 2004 г., обнаружена серповидная частичка самородного железа, отличающаяся высокой чистотой (анализ № 017, рис. 9). Небольшая примесь кремния и кислорода, по-видимому, свидетельствует о наличии вулканического стекла, на котором и зафиксировалась эта частичка (нижняя, более темная часть на рис. 9, анализ № 018).

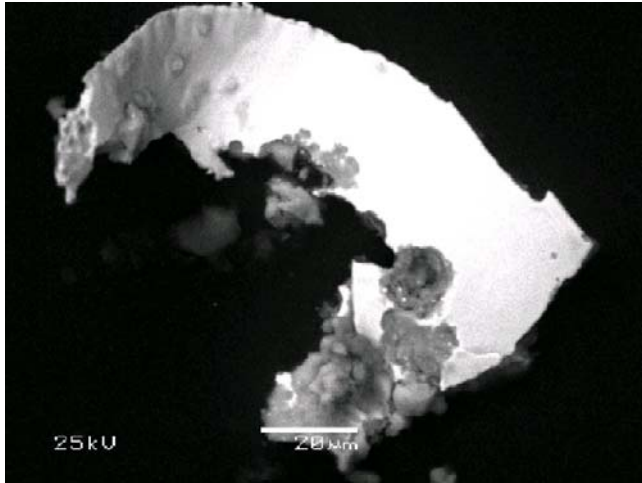
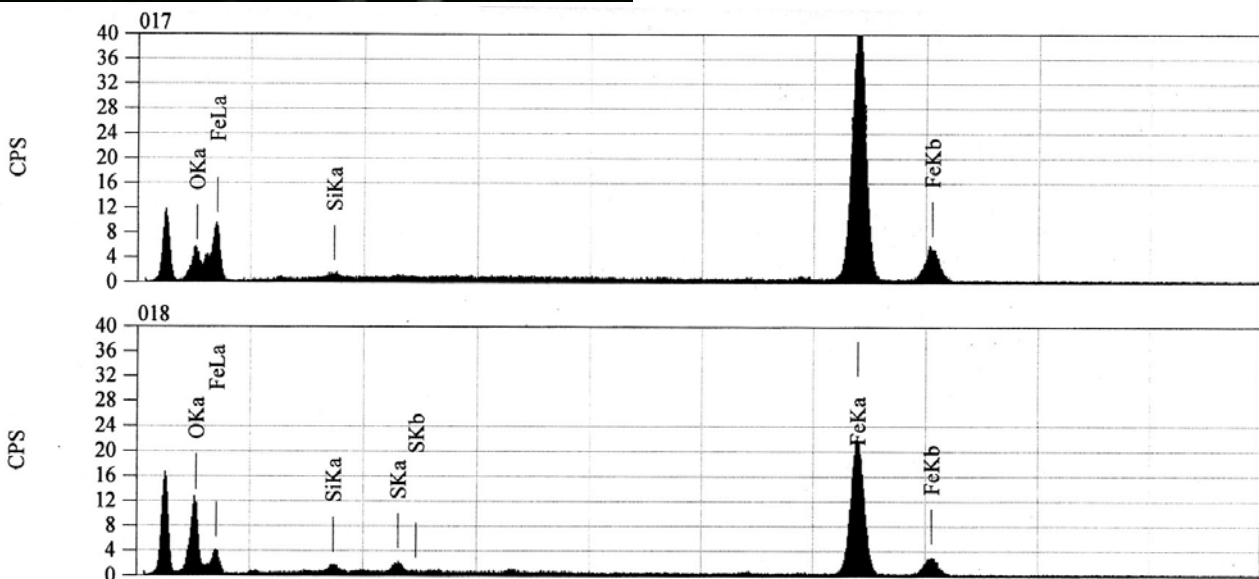


Рис. 9. Серповидная частичка самородного железа (белое), в сростании с вулканическим стеклом, под электронным микроскопом. Ниже - энергодисперсионный спектр частицы



В этой связи следует обратить внимание на обнаружение мельчайших частиц самородного железа в мелкодисперсной фазе лунного реголита, доставленного в 1970 г. автоматической станцией «Луна-16» [5]. Железо, найденное в лунном реголите, обладает особенностью не окисляться в воздушных условиях. Такое же железо было зафиксировано и в спектрах железных метеоритов. Позже такое же железо было обнаружено и в других пробах реголита, доставленных с луны американскими аппаратами. Исследования показали, что это железо тончайшим слоем покрывает поверхность лунного грунта, а во внутренних зонах не наблюдается. Было сделано предположение об образовании пленки Fe вследствие конденсации металлического железа из паровой фазы, которая должна была возникать при ударе железного микрометеорита о лунную поверхность. При этом реголит испытывает частичное плавление, при котором происходит испарение наиболее летучих элементов,

среди которых находятся щелочные металлы и железо [5]. Была предложена также гипотеза возможного воздействия солнечного ветра (протонов) на поверхность реголита и восстановление железа из породы до металлического состояния. Эта гипотеза нашла подтверждение в экспериментах с базальтами, подвергнутыми расплавлению и возгонке в вакууме. В продуктах конденсации вещества базальта было обнаружено и металлическое неокисляющееся железо. Аналогичное железо было получено в эксперименте с порошком фаялита (Fe_2SiO_4), подвергшегося воздействию пучка ионов гелия (своеобразная имитация солнечного ветра).

В нашем случае, возможно, мы имеем пример восстановления железа в высоко-восстановительной обстановке эруптивной колонны Карымского вулкана, о чем свидетельствует и частое обнаружение в пеплах самородного алюминия. Как известно, для образования самородного алюминия характерна высоко-восстановительная среда.

До некоторой степени экзотические находки были сделаны нами в пробах пепла №№ 4585, 4586, отобранных 15 апреля 2004 г., и в пробе 4616, отобранной 15 июля 2004 г. По данным анализа на энерго-дисперсионном спектрометре в пробе 4586 зерно необычной - решетчатой структуры состоит из углерода, с совершенно ничтожными примесями O, Si, Ca, Cl и S (рис. 10). Рентгенофазовый анализ зерна из пробы 4585 однозначно показал наличие линий графита (8 линий, с главными - 3.3400; интенсивность - 100; 2.0925; 2.0323; 1.6822; 1.5459; 1.2339; 1.1586; 1.1520).

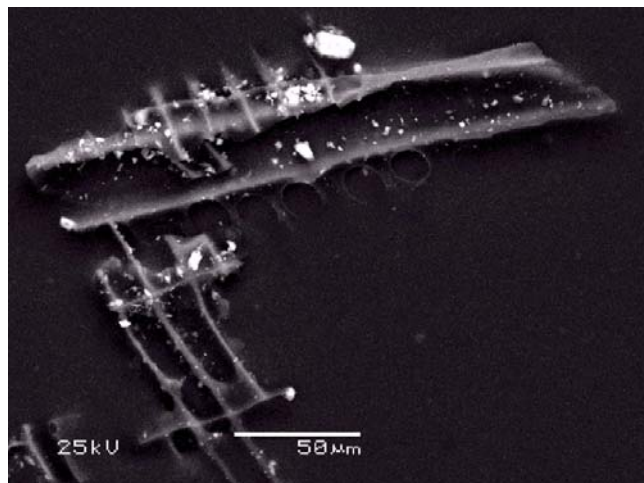


Рис. 10. Состок частички углерода решетчатой структуры, под электронным микроскопом.

В пробе 4616 зерно с преобладанием углерода имеет своеобразное чешуйчатое (слоистое) строение (рис. 11). Содержание углерода в веществе достигает 50.93% вес. Есть

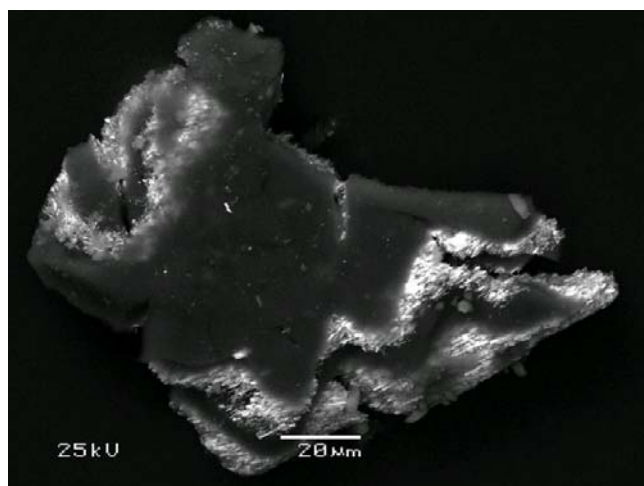


Рис. 11. Чешуйчатый (слоистый) агрегат с повышенным содержанием углерода (по краям зерна), под электронным микроскопом.

Pb - до 37.3%, а также примеси O, S, Cl, Cr и Fe. Исходя из количественных соотношений элементов, можно предположить наличие в зерне смеси минералов - массивота (PbO) и

церуссита ($PbCO_3$). Второй минерал имеет явно гипергенное происхождение. Обращает на себя внимание довольно высокое содержание хрома (до 6,48%), что свидетельствует о наличии глубинной компоненты во флюидном потоке вещества.

В той же пробе 4586 обнаружены своеобразные нитчатые формы вещества, в составе которого основное место занимает углерод. Как правило, они имеют облик длинных волокон, иногда скрученных попарно (рис. 12). В составе примесей обычны O, Na, Mg, Al, Si, иногда P, S, Ti и Fe (проба 4586 зерно 23). Хотя в последнем случае, титан и железо, возможно, принадлежат частичке титаномагнетита, механически застрявшей между волокнами. Более монолитные, вытянутые формы частичек, но со своеобразными округлыми «пузырями» на расширенной (головной) и сужающейся (хвостовой) части, найденные в этой же пробе 4586, можно характеризовать как своеобразные графитовые «волосы Пеле». Они содержат в качестве примесей набор алюмо-силикатных компонентов - Si, Al, O, Na, Cl.

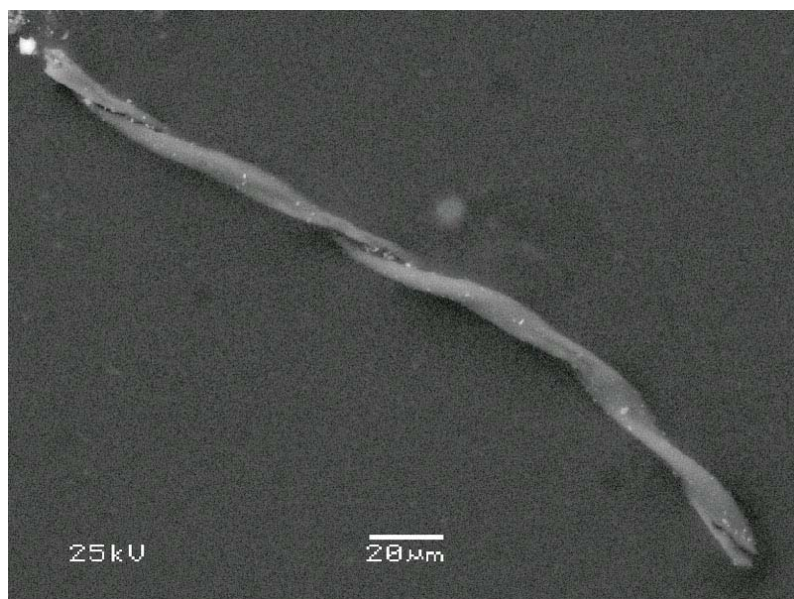


Рис. 12. Образование в форме двойной спирали, состоящее, в основном, из углерода, под электронным микроскопом.

Обнаруженные нами углеродные фазы, особенно с высоким содержанием металлов (Pb, Cr, Al, Fe), возможно, являются природными аналогами вещества, открытого в 1975 г. как «явления образования соединений графита с трехмерным упорядочением кристаллических фаз» [3]. В этих фазах вещество имеет сэндвичевые соединения углерода и его соединений с металлами с соотношением высоты столбика к длине основания больше единицы, приводящее к изменению физико-химических характеристик графита.

Рудные фазы, выявленные нами в пеплах Карымского вулкана, помимо чисто теоретического интереса, имеют, возможно, и практическое приложение. Во-первых, их изучение дает новый материал для развития теории магматогенного минерало-рудогенеза. Во-вторых, дальнейшие исследования количественных характеристик этих минералов в составе пеплов и условий их гипергенной аккумуляции могут дать новое направление в проблеме поисков месторождений полезных ископаемых.

В заключение авторы благодарят своих коллег - В.И.Андреева, Я.Д.Муравьева, А.А.Овсянникова, С.В. Ушакова и др. за отбор и предоставленные в наше распоряжение пробы пеплов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. - Грант 05-05-64789.

Список литературы

1. Карнов Г.А., Штеренберг Л.Е., Золотарев Б.П., и др. Рудные минералы в пеплах вулкана Карымский (извержение - январь 1996 г.) // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С.24-28.

2. Карпов Г.А., Мохов А.В. Акцессорные самородные рудные минералы эруптивных пеплов андезитовых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С.41-49.
3. Миронов А.В., Кондратьев В.К., Рахманин Ю.А., Шипков Н.Н. Явление образования соединений графита с трехмерным упорядочением кристаллических форм // Научные открытия (сборник кратких описаний за 1995-1996 гг.). М. 1997. С.12.
4. Муравьев Я.Д., Федотов С.А., Будников В.А. и др. Вулканическая деятельность в Карымском центре в 1996 г.: вершинное извержение Карымского вулкана и фреатомагматическое извержение в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С.38-70.
5. Урусов В.С. Мельчайшие частицы железа в лунном реголите // Природа. 1978. № 5. С.95-99.