

# САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПЕПЛАХ ВУЛКАНОВ

---

Доктор геолого-минералогических наук Геннадий КАРПОВ,  
заместитель директора Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
(Петропавловск-Камчатский)

---

**Вулканизм — часто неожиданное, иногда катастрофическое, во многом еще не познанное явление природы, отражающее проявление мощных физико-химических и динамических процессов в недрах Земли. С извержениями на поверхность выносятся глубинное газообразное, жидкое и твердое вещество. Изучение его важно как для расширения знаний о внутренних сферах планеты, так и в практическом плане — для рудной геологии, вулканологии и многих смежных дисциплин — сейсмологии, климатологии, экологии.**

**Несмотря на значительные объемы лавовых продуктов, изменяющих рельеф территорий и наращивающих земную кору, общепризнано, что выбрасываемые в воздух мельчайшие частицы — пеплы и аэрозоли (по оценкам, ежегодно в атмосферу поступает порядка 100 млн т вулканического пепла) — оказывают основное воздействие на атмосферу, а при наиболее мощных, катастрофических извержениях — и на климат Земли в целом.**

**Переносимые ветром на сотни километров массы пепла представляют существенную угрозу для авиации.**

**Они также способствуют накоплению рыхлого материала в почвах и водоемах. В этой связи немаловажное значение имеют знания о вещественном и минеральном составе пеплов, чему и посвящена настоящая статья.**



**Вулкан Ключевской,  
14 октября 2013 г.  
Фото Ю. Демянчука**

**Р**ядовые извержения сопровождаются выбросом в воздух до 5000 т мелко- и тонкодробленного вулканического материала только за одну секунду. При крупных и катастрофических событиях его объемы возрастают. Так, в кульминационный период извержения вулкана Безымянный на Камчатке 30 марта 1956 г. было выброшено около 150 млн т пепла. По данным сотрудников Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН кандидата технических наук Николая Жаринова и Юрия Демянчука, за период с 1955 по 2009 г. только от этого вулкана в атмосферу поступило 918,5 млн т пепла. При сильном взрыве на вулкане Карымский 11 мая 1963 г. эруптивное (вулканическое) облако поднялось на высоту 10 км. На прилегающей территории выпало до 150 кг/м<sup>2</sup> смеси шлака, песка и пепла, а в районе г. Петропавловска-Камчатского, расположенного в 130 км к югу, был зафиксирован слой пепла толщиной до 2 мм. Мощные пепловые выбросы обычны для действующих ныне вулканов Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Кизимен на Камчатке, Сакурадзима в Японии, Сент-Хеленс в США, Гекла и Гримсвотн в Исландии, Стромболи в Италии, Попокатепетль в Мексике, Рабаул, Мерапи, Кракатау в Индонезии и др.

По мере удаления от центра эрупции изменяются многие характеристики выпавшего на землю вещества — состав и размер частиц, структура, текстура, минералогия. В первую очередь происходит сортировка материала по размеру и удельному весу зерен. Вблизи вулкана выпадает пепел крупных фракций (0,5–2 мм и более) с наиболее тяжелыми минералами, в составе которых основное место занимают зерна пироксенов, оливина, магнетита и др. На наибольшее расстояние уносится пепел мелких фракций

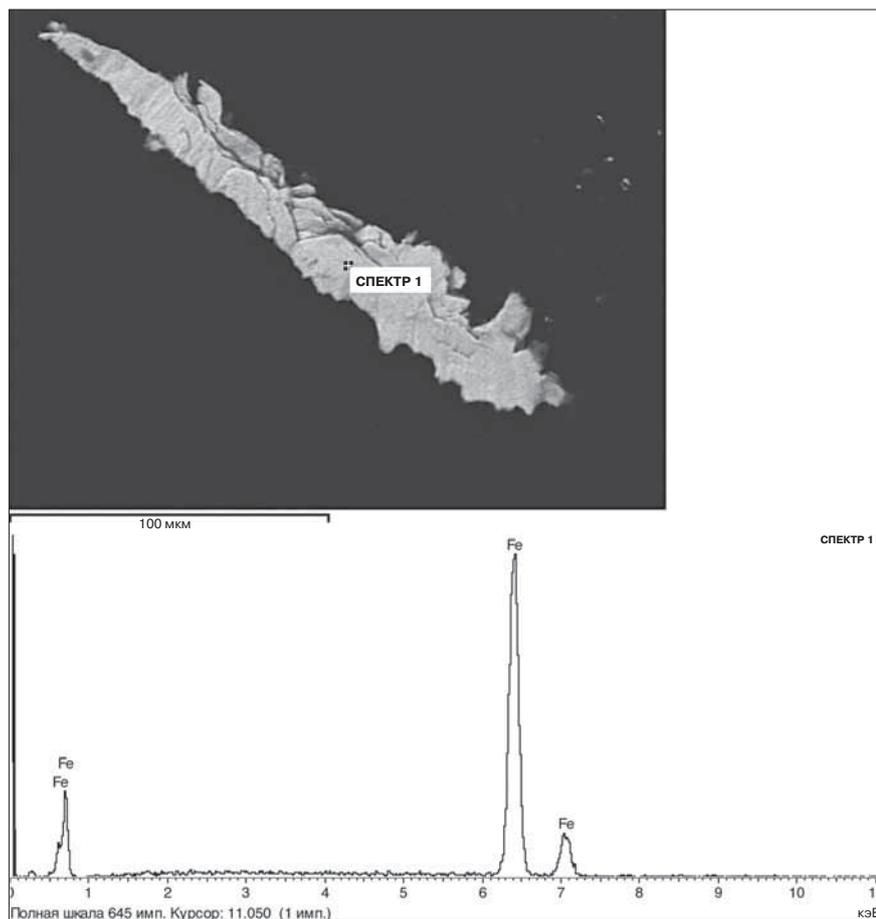
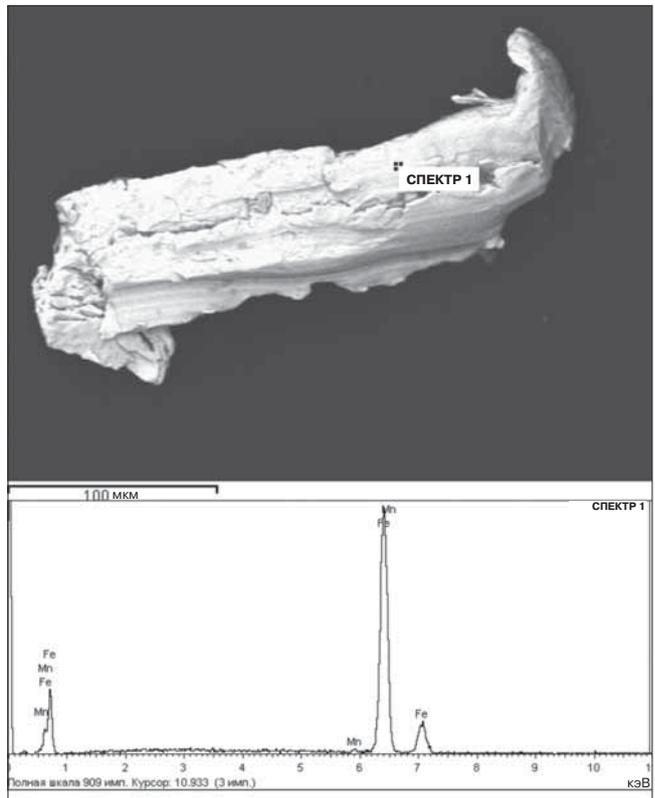
(0,01–0,1 мм), характерный для таких осадочных пород, как пелиты и алевриты. Преобладают в нем частички вулканического стекла угловатой, иногда остроугольной формы, а общее количество обычно не превышает 10–15% (очень редко до 30%) от массы выброса. Для пелитовой фракции характерны так называемые акцессорные минералы (т.е. содержащиеся в незначительных количествах), среди которых нередки апатит, циркон, рутил, ильменит, гематит, пирит. Особенности минерального состава и granulometрии частиц, формирующих почвенно-пирокластический чехол (он представляет собой «слоеный пирог» из чередующихся горизонтов погребенных почв и пеплов) на разных расстояниях от вулканов, позволяют геологам реконструировать разрезы отложений, дешифровать возраст извержений и т.д. В данной статье мы акцентируем внимание лишь на одном аспекте: малоизученных самородных рудных минералах пеплов разных вулканов мира.

Начнем с группы железа-платины (Fe-Pt). Встречаются они редко и из-за малых размеров зерен их обнаружение зачастую возможно только по результатам электронно-микроскопического и микронзондового анализа. Многочисленные частички самородного железа впервые были обнаружены нами в свежееизверженных пеплах Карымского вулкана (начальная стадия извержения 1996 г.). Они имели удлиненную, иногда игольчатую форму, размер 0,02–0,06 мм, стально-серый цвет, обладали ковкостью и магнитностью. Анализ показал, что они сложены самородным низкотемпературным  $\alpha$ -железом. Однако содержание его оказалось меньше 100%, что объясняется присутствием некоторого количества рентгеноаморфных окислов Fe. Выявлено также присутствие никеля, меди и кобальта.

**Удлиненная частица самородного железа  
из пепла трещинного Толбачинского извержения  
2012–2013 гг. и ее рентгеновский спектр.**

Изометричные частицы самородного железа размером 30 x 50 мкм мы обнаружили затем в пепле того же вулкана при мощном взрыве 24 июля 2002 г. Они имели рваные края, многочисленные субпараллельные трещинки и отличались отсутствием примесей. Вообще, в пеплах Карымского вулкана частицы Fe отмечаются практически во всех сильных эксплозиях\*. Причем встречаются как зерна чистого железа, так и с примесями марганца, никеля, кобальта и меди. Единичные частицы Fe обнаружены и в пеплах вулкана Безымянный. Здесь они имеют изометричную форму, размер 50 x 110 мкм, примеси кобальта, никеля, марганца, иногда без примеси и примазки стекла. Зерна железа найдены также в пеплах вулкана Шивелуч. Но особенно много частиц Fe мы обнаружили в пеплах начальной стадии трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. Для большей части его зерен характерны изометричная форма, светло-серый цвет, металлический блеск, ясно выра-

\*Эксплозия — преимущественно взрывное вулканическое извержение, обычно сопровождаемое выбросами большого количества пирокластического материала, обломков лавы, пород стенок канальной части вулкана и газообразных веществ (*прим. ред.*).



**Копьевидная частица  
самородного железа из пепла  
вулкана Эйяфьятлайокюдль  
и ее рентгеновский спектр.**



Полевые работы на извержении.

женная магнитность. Под электронным микроскопом они выглядят как однородные удлиненные частицы белого цвета, размером 75 x 300 мкм, с заметными трещинками вдоль удлинения. Обычно содержат незначительные примеси марганца. Изредка встречаются довольно крупные (до 500 мкм) изометричные, каплеобразные зерна самородного Fe.

Угловатую форму имеют частички самородного железа в пеплах американского вулкана Сент-Хеленс (извержение 1981 г.). При общем удлинении до 75–80 мкм они сформированы как бы из отдельных слипшихся тонких листочков. Характерны примеси марганца и никеля, реже цинка. Частичка железа сложной морфологии и без всяких примесей была обнаружена нами и в пеплах вулкана Спурр на Аляске (извержение 1992 г.). В пеплах исландского вулкана Эйяфьятлайокюдль (извержение 2010 г.) встречено несколько копьевидных частичек самородного Fe размером 30 x 180 мкм. По своему строению и морфологии поверхности они сходны с теми, что обнаружены в Сент-Хеленсе, но совершенно не содержат примесей.

Сопутствующими железу рудными минералами практически во всех пробах пеплов были субмикронные изометричные частицы самородных алюминия и меди (иногда с цинком, реже с оловом), мельчайшие сферулы оксида железа (иногда полые) и индивидуализированные кубические кристаллики (реже агрегаты) сульфида железа. Нередко попадались частички сплавов и интерметаллических соединений железа, марганца, хрома, никеля, титана, меди, молибдена. Встречались единичные мельчайшие зерна самородного никеля, титана и вкрапления молибдена. В

пеплах трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. найдено одно зерно сульфида ртути.

За более чем 15-летний срок отборов проб нами встречены только два зерна самородного никеля (Ni) — на вулканах Безымянный и Шивелуч. Они имели изометричную удлиненную форму, размер порядка 30 (70) x 200 мкм, гладкую поверхность, явную слоистость и очень незначительную примесь Fe.

Из группы благородных металлов за те же годы поиска и наблюдений мы обнаружили только одно зерно самородной платины и два — серебра (Ag). Остроугольное лентовидное зерно платины толщиной 0,4–0,8 мкм и длиной до 200 мкм встречено в пробе пепла щелочных базальтов исландского вулкана Эйяфьятлайокюдль, отобранной во время его мощного извержения в марте 2010 г. В той же пробе выявлены 14 зерен рудных минералов, в их числе самородное Fe, гематит, ильменит, пирит, интерметаллиды титана, марганца, железа. С ними ассоциирует высокомагнезиальный минерал группы оливина — форстерит. Два сферических зерна самородного серебра без примесей мы обнаружили в пеплах вулкана Карымский (извержения 1996 и 2002 гг.). Их диаметр порядка 60 мкм, но состоят они из агрегата тончайших листочков размером 1–10 мкм.

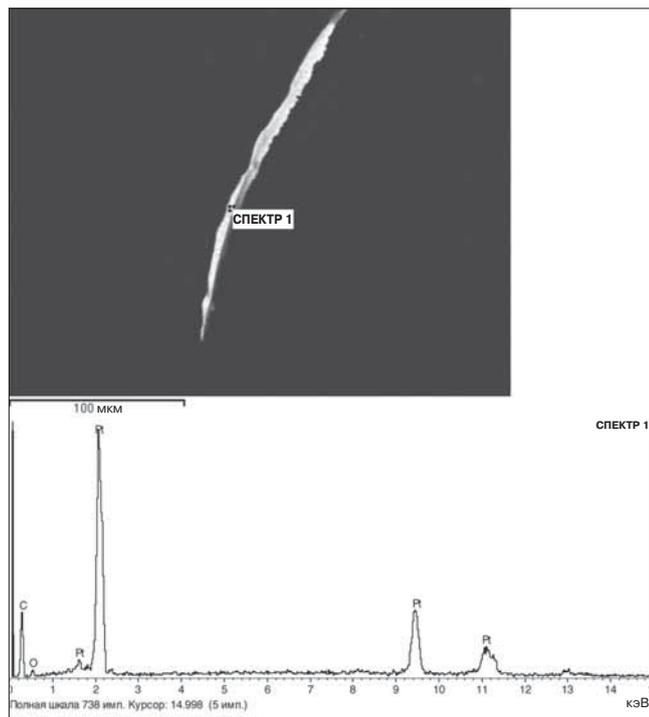
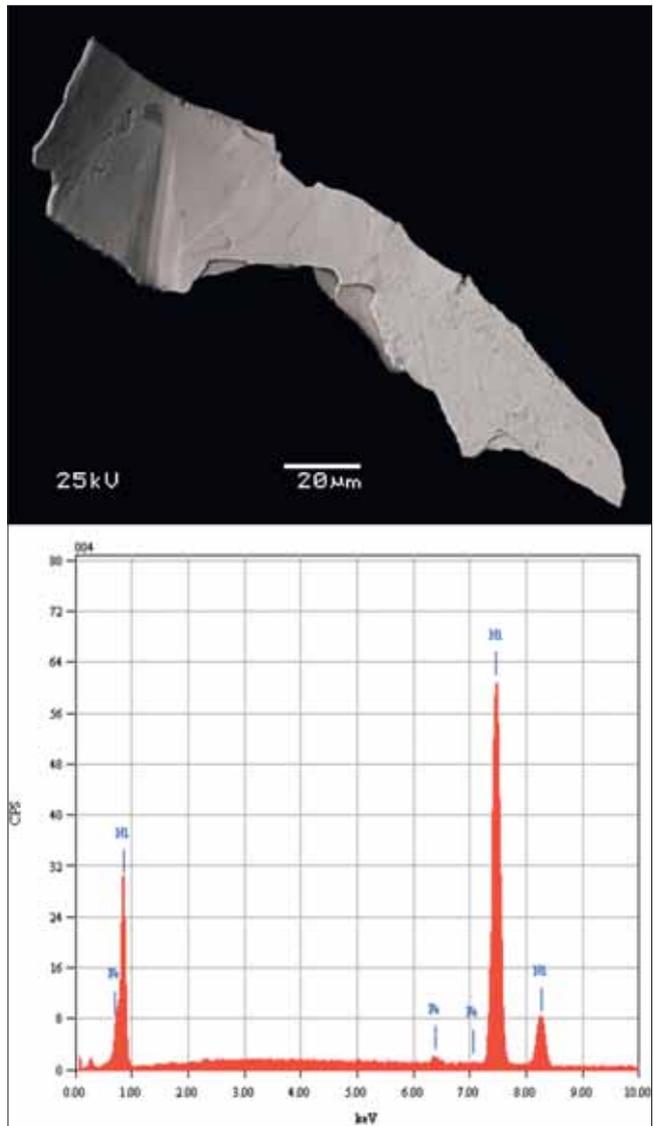
В одну группу металлов с золотом и серебром входит самородная медь (Cu) — они имеют однотипные кристаллические структуры, поэтому парагенезис\* последней с серебром является нормальным. Считается, что медь в самородном состоянии встречается гораздо реже, чем ее сернистые и кислородные

\*Парагенезис — совместное нахождение в тех или иных породах минералов, связанных общими условиями образования (*прим. ред.*).

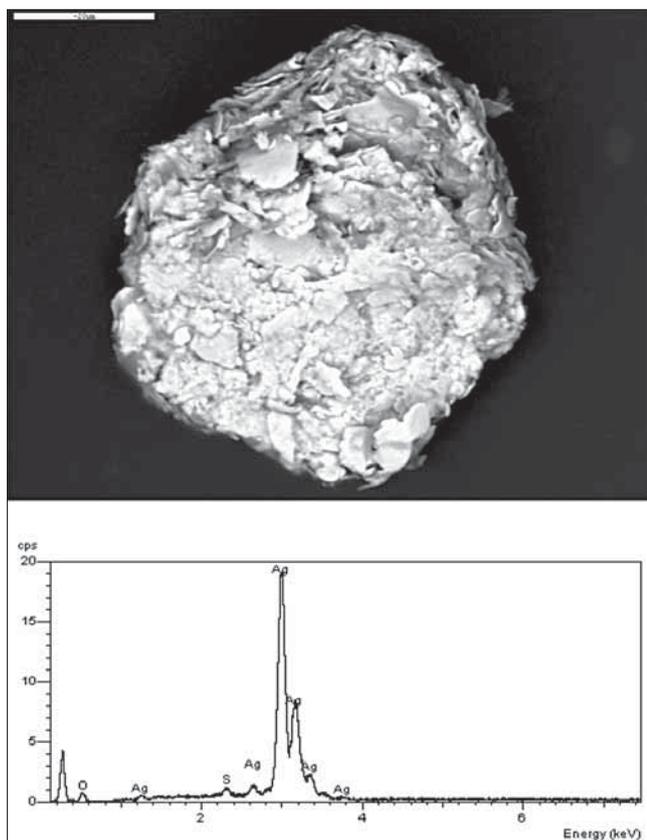
**Частица самородного никеля из пепла вулкана Шивелуч и ее рентгеновский спектр.**

соединения. Но в пеплах она обнаруживается довольно часто. Так, в Карымском вулкане (извержение 2006 г.) были зафиксированы два зерна Си каплеобразной формы. Мельчайшие ее частицы, часто в ассоциации с цинком, встречаются в пепле вулкана Безымянный. Содержащие цинк частицы меди присутствуют и в продуктах вулкана Сент-Хеленс. В пеплах начальной стадии Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. зафиксированы десятки изометричных частиц самородной меди, часто содержащих примесь олова (Sn) и цинка (Zn). Кстати, две частицы самородного цинка изометричной формы размером 50–400 мкм обнаружены в Карымском вулкане, а в пеплах начальной стадии трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. — около 10 зерен Zn, часто с примесью железа, меди, алюминия.

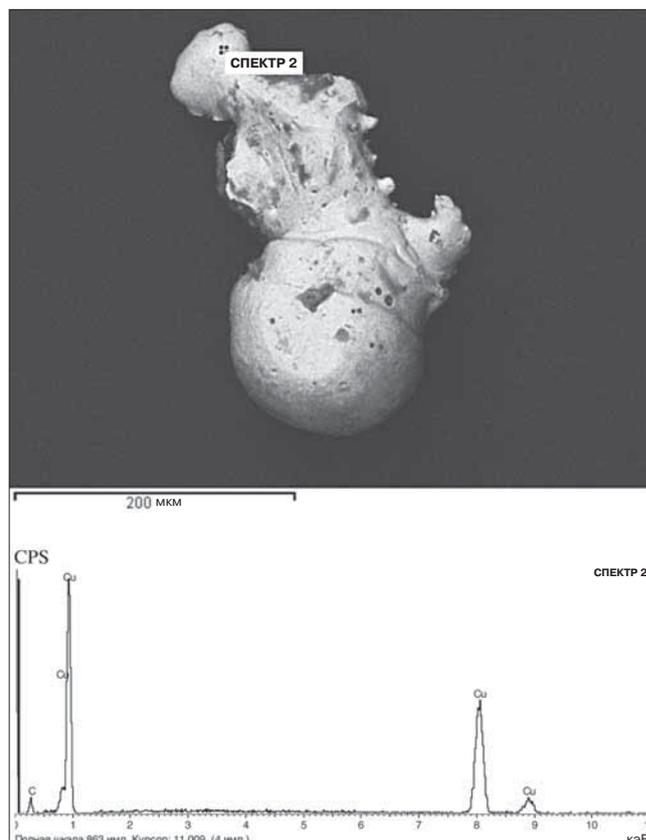
Субмикронные зерна молибдена (Mo) в самородном состоянии встречаются в стекловатых частицах пеплов Карымского вулкана. В качестве микровключений в кристаллах оливина они неоднократно наблюдались в пеплах трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. Природные интерметаллиды, в частности, частицы сложного состава (железо-марганец-хром-титан-молибден) не раз находили в пеплах Карымского вулкана. Изометричные частицы размером до 50 мкм, состава железо-марганец-хром-никель, со следами кремния были обнаружены в пеплах вулкана Шивелуч.



**Частица самородной платины из пепла вулкана Эйфьятлайокюдль и ее рентгеновский спектр.**



**Округлая частица самородного серебра из пепла вулкана Карымский и ее рентгеновский спектр.**



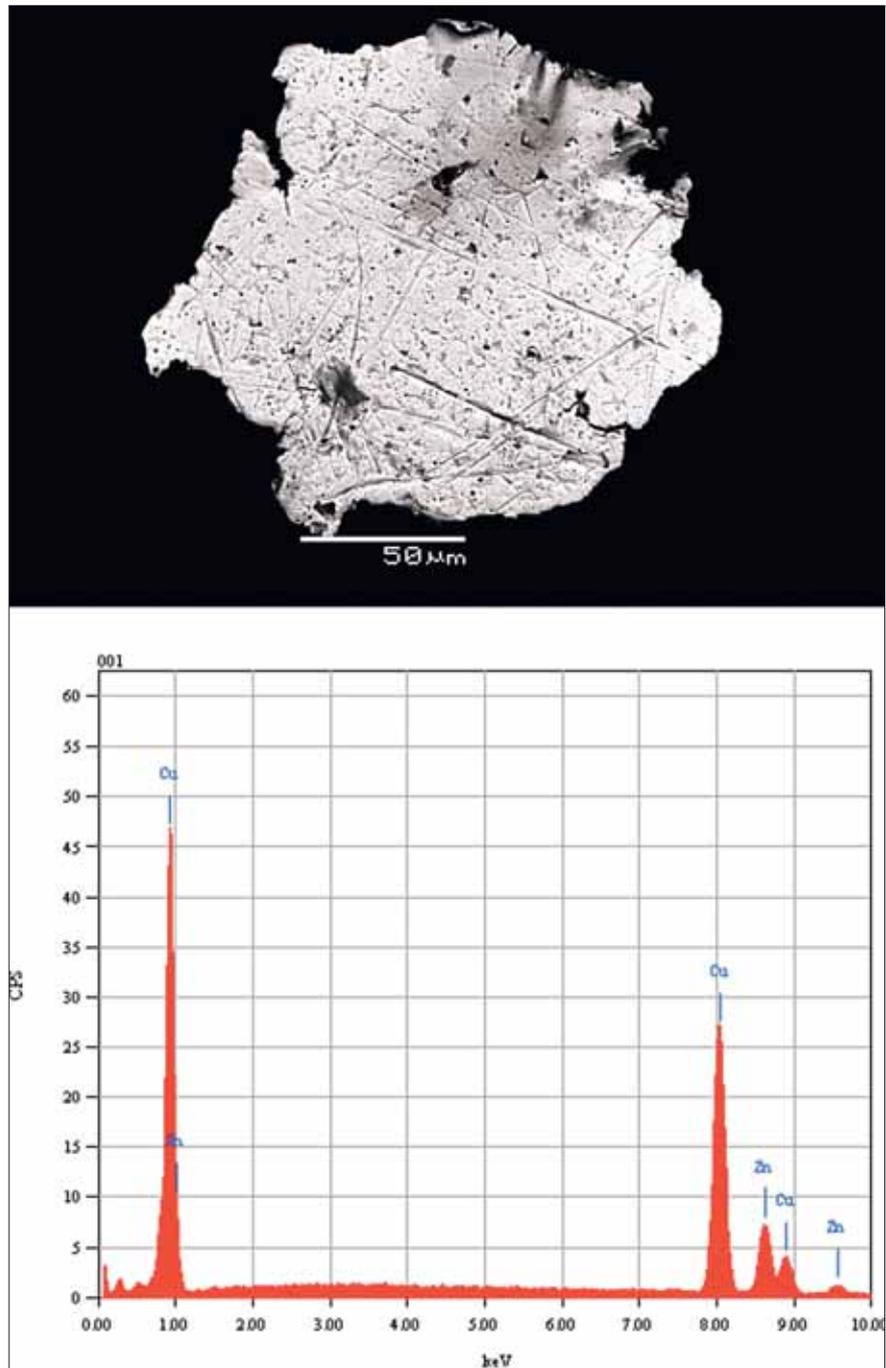
**Каплеобразная частица самородной меди из пепла вулкана Карымский и ее рентгеновский спектр.**

Какие же теоретические следствия следуют из этих находок? Самородные металлы на Земле встречаются в месторождениях разного генезиса — магматических, метаморфических, гидротермальных, даже в железо-марганцевых конкрециях океана. В продуктах вулканических эксгалаций (выделений газов и паров) из расплава мантийных магнезиальных базальтов, с большой скоростью поступивших на поверхность при Большом трещинном Толбачинском извержении 1975–1976 гг., моими коллегами кандидатами геолого-минералогических наук Светланой Главатских и Лидией Вергасовой также была обнаружена большая группа самородных металлов (золото, серебро, медь, свинец, висмут, вольфрам) и интерметаллических соединений (железо, марганец, титан, медь, хром, кобальт, молибден). Об обособлении обогащенной металлами флюидной газовой фазы в процессе подъема магматического вещества к поверхности рассказали в своих работах кандидаты геолого-минералогических наук Игорь Менялов и Людмила Никитина. Они отмечали, что масштаб выноса летучих и халькофильных\* элементов (включая платину и палладий) в составе эксгалаций во

\*Халькофильные элементы — группа из 19 химических элементов (S, Sb, Bi, As, Se, Te) и ряд тяжелых цветных металлов (Cu и др.), склонных к образованию природных сульфидов, селенидов, теллуридов (прим. ред.).

время упомянутого извержения 1975–1976 гг. был значительно выше, чем их содержание в базальтах.

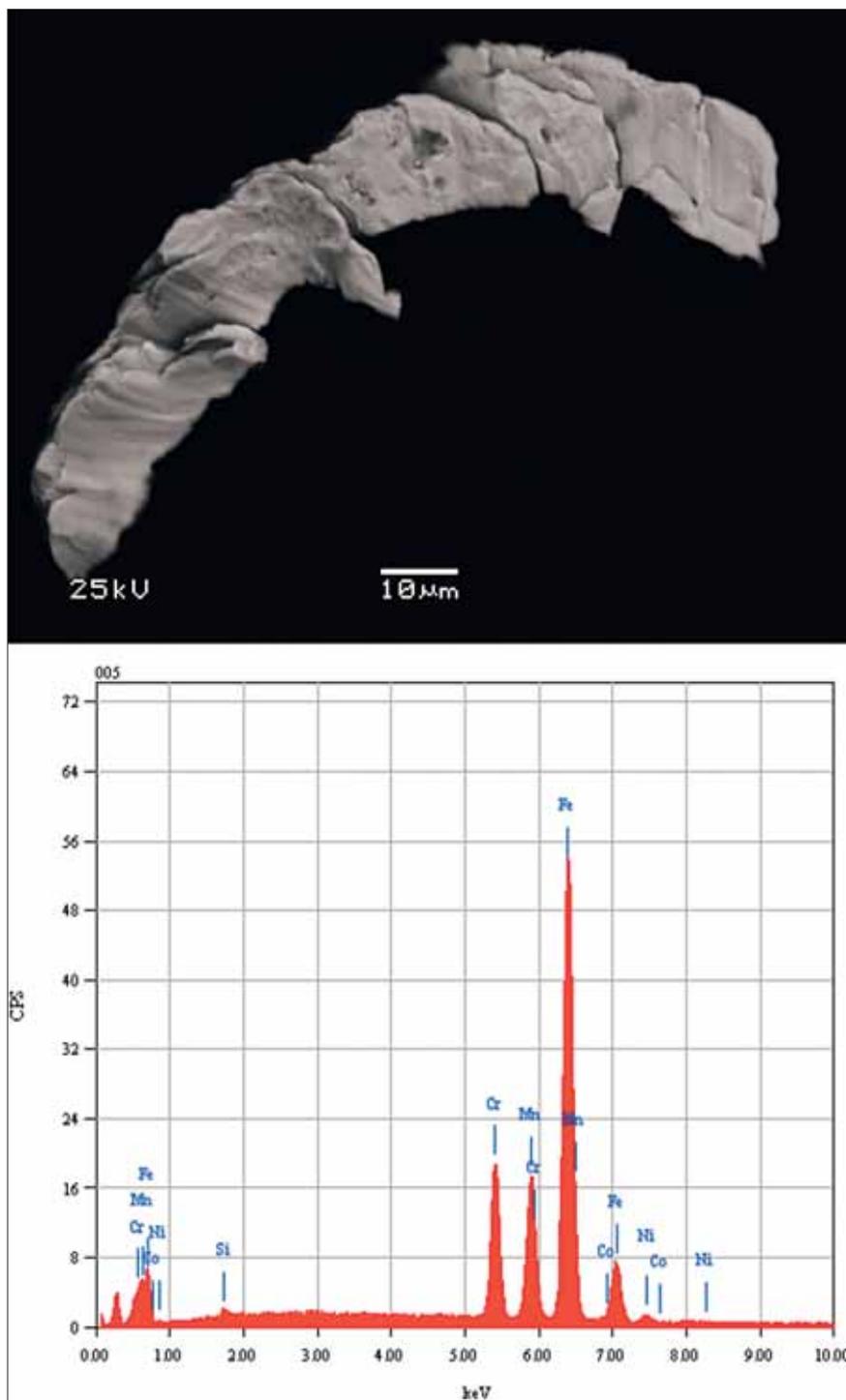
Частота встречаемости в пеплах вулканов таких самородных металлов, как Fe, Cu, Zn, реже Ag, Mo, Ni и др., может свидетельствовать, во-первых, о близкой по элементному составу специализации исследованных магматогенных флюидных систем, а во-вторых, о форме переноса рудных компонентов, легко трансформирующейся в поверхностных условиях с образованием самородных фаз и их сплавов. Такими формами переноса вещества могут быть как галоидные и карбонильные комплексы металлов, так и открытые недавно докторами геолого-минералогических наук Сергеем Кривовичевым и Станиславом Филатовым (Санкт-Петербургский государственный университет) комплексы металлов в виде оксигенированных тетраэдров. Наблюдения за характером извержений вулканов, составом их пеплов и содержанием рудных компонентов, в том числе самородных элементов, показали, что особенно представительны последние в пеплах, выброшенных при наиболее мощных извержениях. По нашему мнению, в такие периоды деятельности вулкана легколетучие компоненты магматической флюидной системы, среди которых основное место занимают восстановители — водород, метан, монооксид углерода, сероуглерод, а также металлы в составе перечисленных



*Частица самородной меди  
из пепла вулкана Сент-Хеленс  
и ее рентгеновский спектр.*

выше форм переноса, обгоняют расплав. В такой обстановке продукты сильных взрывов обогащаются самородными элементами. Об этом свидетельствуют и данные статьи кандидата геолого-минералогических наук Андрея Гребенникова с соавторами в журнале «Вулканология и сейсмология» (2012, № 4), где на основе детальных исследований сделан вывод о водородно-метановом составе газовой фазы, обусловившей формирование парагенезисов минералов, включающих и самородное железо.

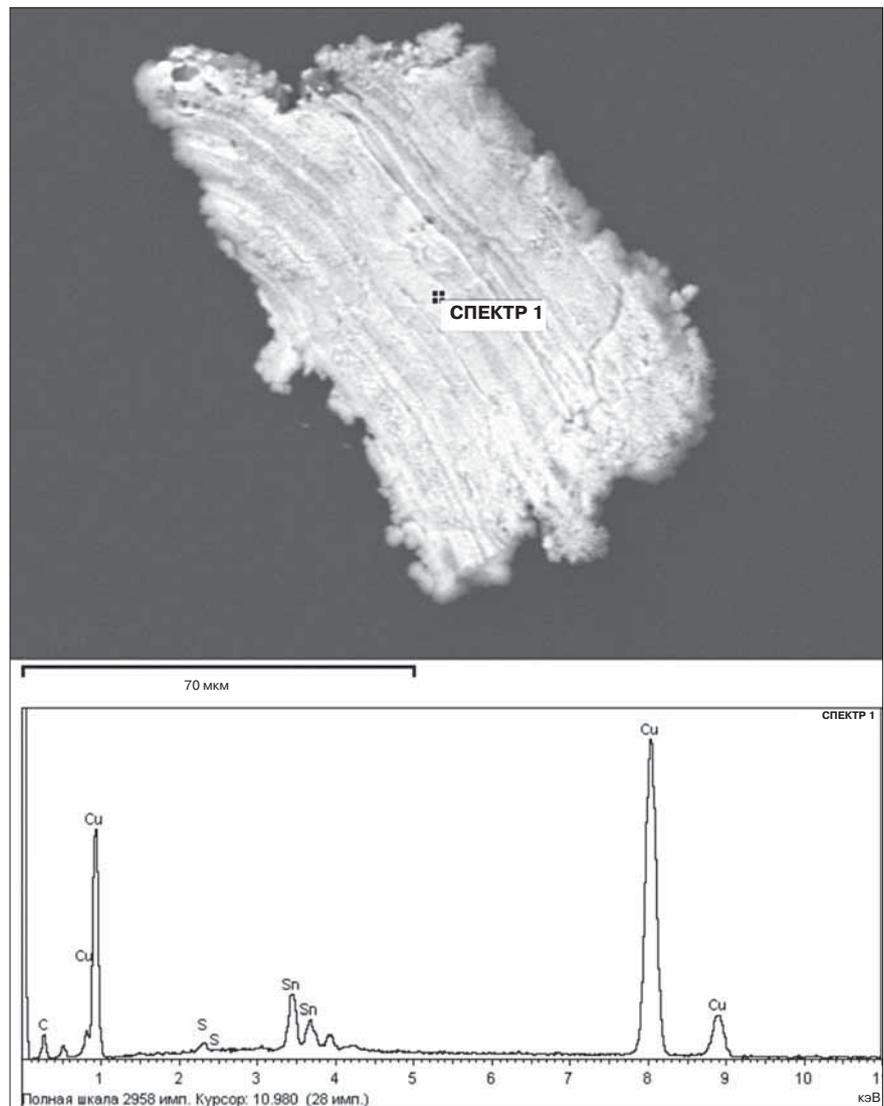
Обнаруженная нами в пеплах вулкана Эйяфьятлай-окиудль ассоциация рудных минералов, включающая платину, самородное Fe, интерметаллиды железа, марганца, кобальта, хрома, никеля, титана, молибдена и марганец-содержащий ильменит, с учетом геолого-структурного положения Исландии на оси Срединно-океанического хребта, может свидетельствовать в пользу поступления самородных элементов из перидотитовой верхней мантии (она располагается под литосферой на глубинах от ~ 20 (70) до 670 км).



*Изогнутая частица интерметаллидов состава Fe, Mn, V, Ni, Cr, Ti, Mo из пепла вулкана Шивелуч и ее рентгеновский спектр.*

Полученные нами данные о морфологии, размерах частиц, степени их чистоты и встречаемости в пеплах действующих вулканов показывают, что рудное вещество в магматических флюидных системах переносится, скорее всего, в газовой фазе и обособляется в пеплах в виде зерен субмикронных размеров. Самородные металлы отмечались многими исследователями и в составе магматических ком-

плексов. Следовательно, современный вулканизм является поставщиком на поверхность земли рудного вещества в виде самородных металлов и интерметаллидов. В Тихоокеанском регионе это прежде всего железо, титан, марганец, хром, кобальт, медь, цинк, в меньшей степени молибден, серебро, никель. Можно предположить, что они являются индикаторами металлогенической специализации



**Частица самородной меди из пепла трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. и ее рентгеновский спектр.**

магм, и в процессе подъема магматического вещества в верхние горизонты земной коры, при спаде давления и температуры на определенной глубине, в настоящее время происходит формирование зон оруденения соответствующих металлов. Характерно, что практически все выявленные нами самородные металлы и интерметаллиды присущи продуктам и андезитового, и базальтового вулканизма, что подтверждает представление некоторых геологов о единой родоначальной магме. Вариации составов изверженных пород на действующих вулканах, по видимому, свидетельствуют о различных стадиях дифференциации глубинных очагов магмы под вулканами.

В целом следует отметить, что несмотря на преобладание в составе вулканических пеплов частиц силикатного состава, тем не менее количество рудного вещества (преимущественно железа, в меньшей степени меди, цинка, олова, молибдена, никеля и др. металлов) в виде ультрамелких индивиду-

ализированных частиц может достигать нескольких тысячных долей процента. Конечно, вулканический пепел сильно рассеивается ветровыми потоками, но, принимая во внимание громадные его массы, количество рудного вещества в самородном состоянии, попадающего в осадки, почву и водоемы Земли, все же весьма существенно. И это следует учитывать при оценке общего выноса такого вещества из недр. Впрочем, как и то, что встречающееся чаще других минералов самородное железо может играть роль катализатора при многих физико-химических и биологических процессах в разрезах земной коры и почвах.

*Иллюстрации предоставлены автором*