

УДК 551.217.24;549.1;571.66

Г. А. Карпов, Л. П. Аникин, А. Г. Николаева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: karпова@kscnet.ru*

Самородные металлы и интерметаллиды в пеплах действующих вулканов Камчатки и Исландии

Приведены новые данные о рудных образованиях и интерметаллических соединениях, а также сопутствующих им нерудных минералах, определённых в пеплах Корякского, Карымского вулканов Камчатки и вулкана Эйяфьяллайёкюдль в Исландии. Сделан предварительный вывод о гибридном составе магмы, участвовавшей в извержении исландского вулкана.

Введение

Самородные металлы и интерметаллиды встречаются в месторождениях разного генезиса — в магматических, метаморфических и гидротермальных. Исследования [3–6] на Большом трещинном Толбачинском извержении 1975–1976 гг. позволили обнаружить большую группу самородных металлов и интерметаллических соединений также и в вулканических эксгалациях — производных расплава магнезиальных базальтов, поступавших на поверхность с большой скоростью из области верхней мантии. Дифференциация многокомпонентной газовой фазы, отделившейся от магматического расплава при температуре более 1000°С [10], в приповерхностных условиях кратерной зоны на Северном прорыве БТТИ привела к формированию оруденения, в составе которого были обнаружены самородные элементы — Au, Ag, Cu, Pb, Bi, W, интерметаллические соединения, а также сульфаты, окисульфаты, хлориды и оксихлориды Cu, Zn, Pb, Fe, Al, V, Te, Se, Bi, оксиды Fe и Cu. Доказательством переноса рудных элементов современными магматогенными флюидными системами в элементарном состоянии или в виде легко распадающихся при входе в атмосферу газовых комплексов является и обнаружение нами большого числа рудных образований в пеплах действующих вулканов Камчатки [7–9].

Основные результаты исследований

Минералогия пеплов Корякского вулкана. Эксплозивное извержение Корякского вулкана началось в октябре 2008 г. с выброса пепла и паро-газовой смеси из двух жерл, расположенных в привершинной, северо-западной части склона вулкана. Пепел этого извержения отличается тонкодисперсностью и светлым цветом. По исследованиям Л. П. Аникина в составе лёгкой фракции присутствуют полевые шпаты, кварц, вулканическое стекло. В тяжёлой фракции установлены амфибол, пироксены, оливин, шпинель, карбид кремния (?), корунд, графит, рутил, гранаты и пирит. Нами пепел отобран

в мае 2009 г., на расстоянии более 20 км от вулкана, со снега. В составе пепла, помимо указанных выше минералов, большое место занимали субмикронной размерности шариковидные образования оксида железа, с дендритовидной структурой поверхности. Причём, удалось обнаружить, что они являются полыми (рис. 1). Обычными были также шариковидные, кавернозные зёрна самородной серы (рис. 2) и тонкодисперсного пирита. Интерес вызвало обнаружение зерна размером порядка 100 микрометров, которое состояло из агрегата микронных зёрен сульфида железа (рис. 3а), среди которых заметны включения ещё более мелких зёрен самородного Мо или (MoS₂?) (рис. 3б). В энерго-дисперсионном спектре этого вещества хорошо проявлены линии Мо.

Встречены также единичные зёрна угловатой формы, состав которых представлен интерметаллическими соединениями Fe, Mn, Cr, Ni, Ti, Cu (рис. 4).

Минералогия пепла Карымского вулкана. Извержение Карымского вулкана, начавшееся 2 января 1996 г., продолжается (по состоянию на март 2012 г.). По своему механизму оно относится к вул-

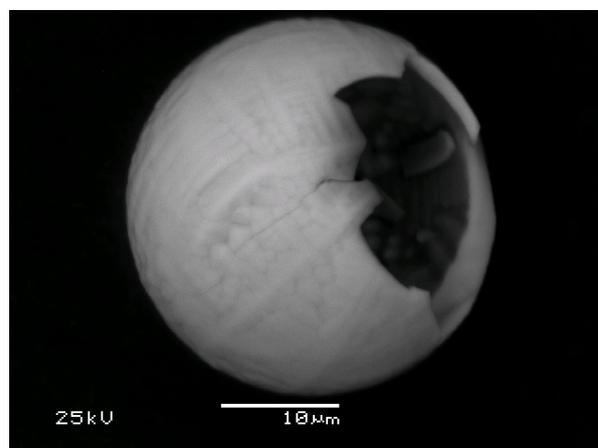
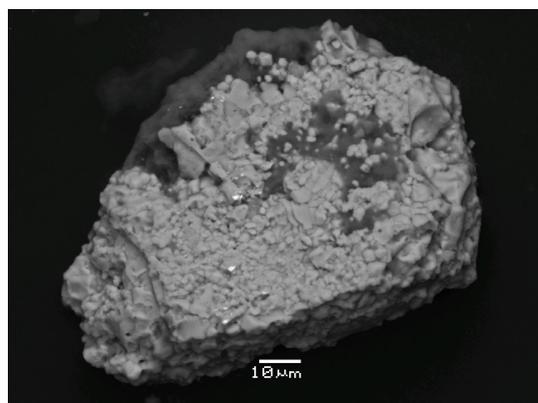


Рис. 1. Полые шариковидные образования FeO с дендритовидной структурой.

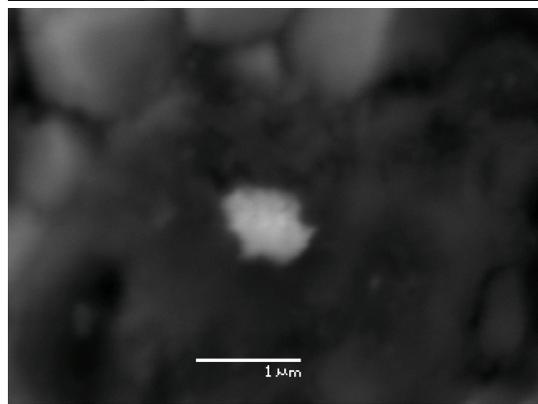
канско-стромболианскому типу, для которого характерны многочисленные, иногда очень мощные, взрывы и большой объём извергаемого газо-пеплового материала. Карымский пепел характеризуется тёмно-серым цветом, большой вариабельностью размеров частиц, но довольно хорошей выдержанностью химического состава [8]. Минералогия Карымских пеплов изучается с 1996 г. и уже достаточно хорошо описана нами [7–9]. В них определены многочисленные зёрна самородных Fe, Al, а также Cu,



Рис. 2. Общий вид шариковидной частицы самородной S.



(a)



(б)

Рис. 3. Агрегат зёрен FeS_2 с включениями Mo ($\text{MoS}_2?$) (а), зерно Mo ($\text{MoS}_2?$) в поле кристаллитов FeS_2 (б).

Zn, оксидов и сульфидов железа. Интерес вызвали находки субмикронных зёрен самородного серебра (рис. 5), состоящих из агрегата тончайших листочков микронной размерности. Кроме того, неоднократно встречены удлинённые, сложной морфологии и довольно крупные зёрна интерметаллических соединений, состоящие из агрегата тонких пластин, в составе которых определены Fe, Mn, Co, Ni, Cr, Mo, Cu, Ti и другие элементы (рис. 6).

Минералогия пепла вулкана Эйяфьяллайёкюдль.

Проба пепла была отобрана Д. Г. Батуриным с земли вблизи вулкана во время его мартовского извержения 2010 г. и часть её была передана нам сотрудницей Института палеонтологии РАН Л. В. Зайцевой в сентябре 2010 г.

Общий вес пробы был 0,535 г. Без разделения на фракции от общей массы пробы было отсыпано 0,3 г для производства анализа содержания микро-

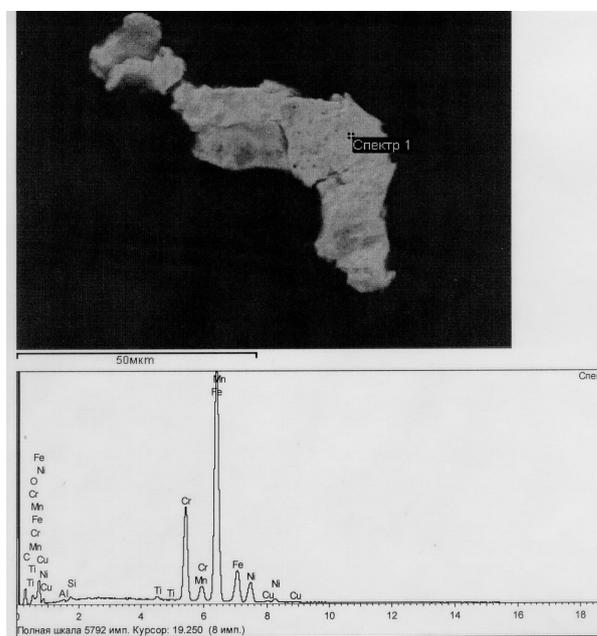


Рис. 4. Зерно интерметаллических соединений Fe, Mn, Cr, Ni, Ti, Cu.

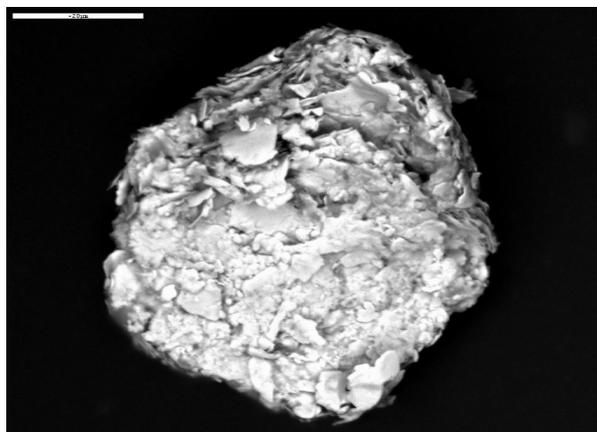


Рис. 5. Шариковидное зерно самородного Ag.

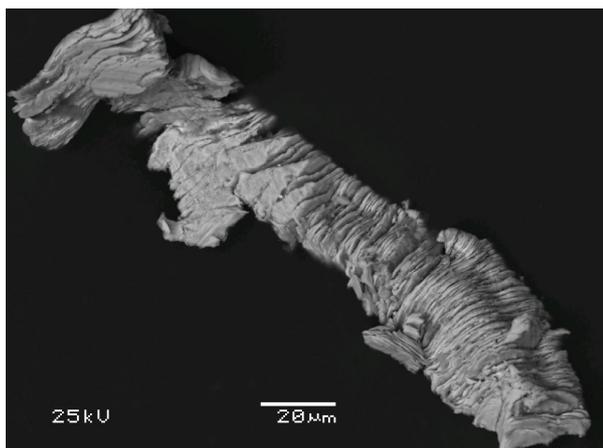


Рис. 6. Агрегат интерметаллических соединений Fe, Mn, Co, Ni, Cr, Mo, Ti.

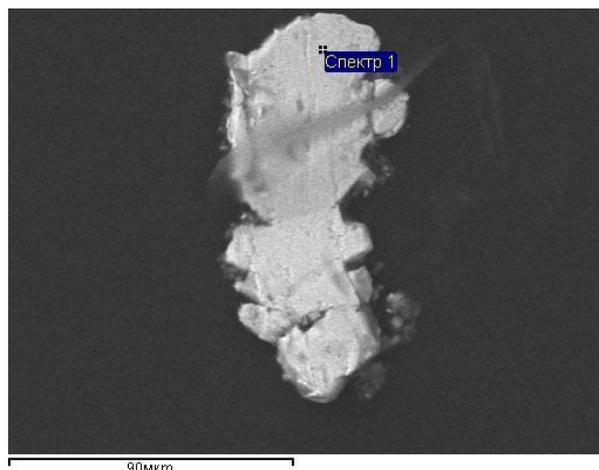


Рис. 7. Самородное Fe.

элементов. Оставшаяся часть на пластиковом сите была расситована на две фракции — менее 0,316 мм (проба 7078/1) и более 0,316 мм (проба 7078/2). Эти пробы были обработаны и исследованы по стандартной методике, изложенной в [8].

Тонкая фракция пепла представлена, в большей мере оплавленными частичками кислого вулканического стекла тёмного цвета, иногда комковатыми, бесформенными, с блестящей поверхностью. При исследовании на микрозонде было обнаружено, что часть обломков стекла содержит кристаллы пироксенов, рудного вещества, очень мелких лейст плагиоклазов и единичные зёрна оливина. Во включениях в кислом стекле определены апатит, ильменит, клинопироксен, магнетит. Интересно, что в отдельном встречающемся зёрне оливина последний более магнезиальный, чем тот, что находится в стекле.

В составе крупной фракции присутствуют обычно обломки стекла основного состава изометричной формы, более светлого цвета, чем в тонкой фракции, с микролитами моноклинного пироксена, плагиоклаза и светло-зелёного оливина.

По данным визуального осмотра пробы пепла существенно различаются как по внешнему облику, так и по составу. Находки рудного вещества были сделаны преимущественно в тонкой фракции.

Всего выявлено 14 индивидуализированных зёрен рудных минералов (включая шарики, обогащённые рудными элементами). В их числе — самородные Pt, Fe, интерметаллиды Ti, Mn, Fe, Mn-гематит, яacobсит, пирит, ильменит с порошкообразным гематитом на гранях, четыре характерные частички вулканического стекла в виде волос Пеле размером до 10–12 мм, 7 таблитчатых прозрачных кристаллов ангидрита (?) и несколько шариковидных зёрен вулканического стекла, богатого включениями интерметаллидов Ti, Mn, Fe.

Самородное железо. Самородное железо обнаружено в пробе № 7078/1. Его сильно магнитная частичка имеет форму пластинки с неровными краями

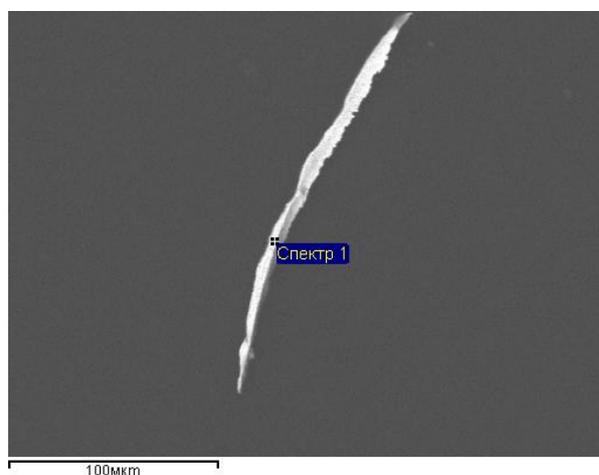


Рис. 8. Самородная Pt.

и чистой, ровной поверхностью, размером 30×110 мк (рис. 7). В железе не обнаружено никаких примесей. Частички самородного железа, аналогичные по форме, размеру и содержащие микропримеси Si были неоднократно отмечены и в составе пеплов вулканов Карымский и Шивелуч на Камчатке, иногда в сростании со стекловатым матриксом породы [7–9].

Платина. Платина встречена в виде одного лентовидного, сужающегося к краям зерна тёмно-серого цвета, толщиной 0,5–8 мк и длиной до 200 мк, в пробе № 7078/2 (рис. 8).

Ильменит. В пробе № 7078/2 ильменит составляет основу ромбоэдрического зерна. Он слабомагнитен. В его составе отмечено присутствие Mg, Mn, Al, Ti и Si (рис. 9).

В пробе № 7078/1 встречено шариковидное зерно диаметром порядка 15 мк (рис. 10), в энергодисперсионном спектре которого преобладают линии Ti, Mn, Fe и присутствуют линии Si, Al, Ca, K и O. Мы интерпретируем это образование как вулканическое стекло, в котором рассеяны микрокристаллы марганцовистого оксида железа и титана, типа яacobсита (?).

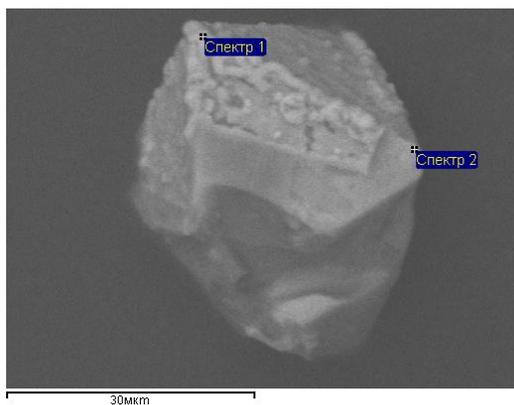


Рис. 9. Кристалл ильменита с порошковатым гематитом.

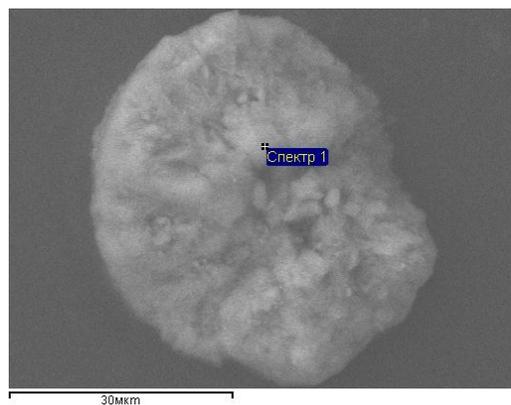


Рис. 10. Шариковидное зерно вулканического стекла с микрочастицами оксидов Fe, Ti, и Mn.

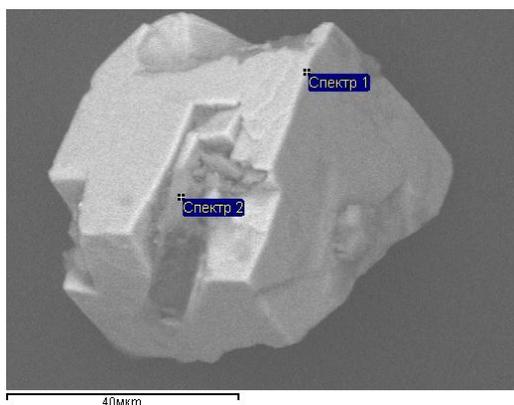


Рис. 11. Кристалл FeS_2 и включение магнийсодержащего вулканического стекла.

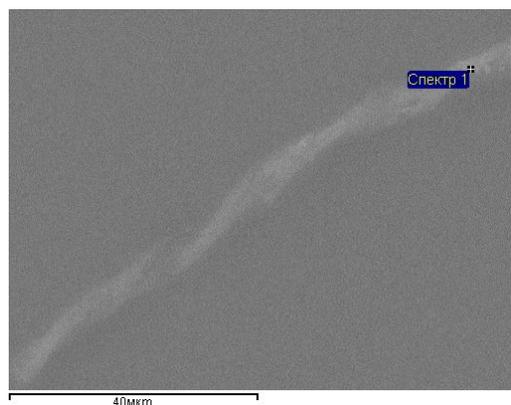


Рис. 12. Частичка волос Пеле.

Пирит. В пробе № 7078/2 пирит был встречен в виде хорошо огранённого кристалла кубического габитуса размером около 60 мк (рис. 11). По данным энергодисперсионного спектра и микрозондового определения содержаний Fe и S в составе минерала, они абсолютно точно соответствуют стехиометрии пирита. Примесей других элементов в пирите не отмечено. Но в полости кристалла содержится включение магнийсодержащего вулканического стекла.

Волосы Пеле. В пробе № 7078/1 волосы Пеле были обнаружены в виде четырёх нитевидных обломков (рис. 12). В их составе, помимо обычных для базальтового вулканического стекла — Si, Al, O, Ca, Mg, Na, Fe, присутствуют P и S.

Обсуждение полученных результатов

Исландия, как известно, является одним из самых активных, наряду с Камчаткой, регионов современного вулканизма. Геологическое строение Исландии, расположенной в рифтовой неовулканической зоне Срединно-Атлантического океанического хребта, по мнению многих исследователей, определяется наличием под ней горячего мантийного плюма [11–13], поднимающегося по данным [13] с границ нижней мантии и внешнего ядра Земли. Считается, что с действием этого плюма и связан

вулканизм Исландии в последние 16 млн лет. Лавы вулканов Исландии по петрохимическим характеристикам относятся к щелочным и толеитовым базальтам [11]. Судя по химическому составу пепла вулкана Эйяфьяллайёкюдль (в %: SiO_2 — 52,19, TiO_2 — 1,6, Al_2O_3 — 13,8, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ — 10,2, MnO — 0,23, CaO — 3, MgO — 2,6, Na_2O — 4,2, K_2O — 1,6, P_2O_5 — 0,32, S — 0,076), приведённого в работе [1] (часть именно этого пепла была передана нам) и по нашим находкам в этой пробе мелких зёрен пироксенов, плагиоклазов и обломков стекла с вкрапленниками он относится к производным щелочных базальтов. Проба пепла грубой фракции № 7078/2 сильно отличается от тонкой фракции, как по цвету материала, так и по его составу. Главное отличие — в ней присутствуют индивидуализированные зёрна высокомагнезиального оливина. Можно предположить, что эти порции пепла имеют разноглубинное происхождение.

По данным [11] магматические породы Исландии обогащены Sr, лёгкими редкоземельными элементами (La, Sm и др.), Rb, Th и U. Повышенные содержания Sr (287 г/т), Y (68 г/т), Zr (506 г/т), Nb (57 г/т), Rb (39 г/т), Th (6,3 г/т) и U (2,2 г/т) отмечены и в пепле в. Эйяфьяллайёкюдль по пробе № 7078 [1]. В работе [11] отмечается, что в условиях

исключительно высоких тепловых потоков в рифтовой зоне Исландии, обеспечивающих температурный градиент вблизи поверхности до 160°С/км, базальтовая магма может выплавляться из перидотитовой верхней мантии, расположенной здесь, судя по геофизическим данным, на глубине не более 15 км.

По нашему мнению, обнаруженная нами в пеплах вулкана Эйяфьяллайёкюдль ассоциация рудных минералов, включающая Pt, самородное Fe и Mn-содержащий ильменит, может свидетельствовать в пользу непосредственно мантийного поступления их в продукты вулканизма. Не исключена и гипотеза об их извлечении из габброидов, залегающих в земной коре [14]. На такую возможность указывает обнаружение интерметаллидов Pt и Fe в осадках рифтовой впадины Маркова в Срединно-Атлантическом хребте [2]. Авторы этой работы предполагают генетическую связь ферроплатины с плутоническими пироксенит-габбровыми телами на океаническом дне. Вызывают минералогический интерес три обнаруженных нами факта — самородное Fe, высоко Mn ильменит и Pt. Для подтверждения наших выводов о генезисе материала пеплов вулкана Эйяфьяллайёкюдль необходимы изотопные исследования продуктов его вулканизма.

Заключение

Приведённый материал позволяет сделать вывод о том, что современные вулканогенные флюидные системы имеют рудную нагрузку, т. е. являются рудоносными. Часто наблюдаемые в составе одной и той же пробы пеплов разновалентные (от максимально восстановленных до окисленных) состояния рудных компонентов свидетельствуют о сложной окислительно-восстановительной обстановке в зоне флюидного транспорта и, по-видимому, о чрезвычайной гетерогентности условий газотранспортных реакций в самой газовой-пепловой колонне в процессе извержения. Обращает на себя внимание перенос вещества в виде самородных элементов, возможно, в виде кластеров или наночастиц.

В этой связи примечательно очень важное замечание авторов [10], которые отметили, что масштаб выноса летучих и халькофильных элементов (включая Pt и Pd) в составе газовой фазы Толбачинского извержения 1975 г. был значительно выше, чем их содержания в базальтах Северного прорыва БТТИ. Это может свидетельствовать об обособлении обогащённой металлами флюидной фазы в процессе подъёма магматического вещества в верхние горизонты земной коры, где при спаде давления и температуры и формируются зоны оруденения.

По материалу исследования пеплов исландского вулкана, в котором обнаружены зёрна самородных Pt, Fe и Cu, а также интерметаллидов Fe, Mn, Co, Cr, Ni, Ti, Cu, Mo, пирита, титаномагнетита и оксида железа, наряду со стеклом разного состава и очень переменным составом пироксенов, оливина и пла-

гиоклаза, сделан предварительный вывод о гибридном составе магмы, участвовавшей в извержении.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-05-00 572.

Список литературы

1. Батурич Г. Н., Зайцева Л. В. Пепловое облако исландского вулкана. Природа. 2010. № 10. С. 64–68.
2. Бортников Н. С., Мочалов А. Г., Черкашев Г. А. Самородные минералы и интерметаллиды благородных и цветных металлов в осадках впадины Маркова, Срединно-Атлантический хребет // ДАН. 2006. Т. 409. № 4. С. 522–527.
3. Вергасова Л. П., Старова Г. Л., Серафимова Е. К. Самородное золото вулканических эксгаляций шлаковых конусов Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 2000. № 5. С. 19–27.
4. Главатских С. Ф. Самородные металлы и интерметаллические соединения в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // Докл. АН СССР. 1990. Т. 313. № 2. С. 433–437.
5. Главатских С. Ф. Металлообразование в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка). Вулканология и сейсмология. 1995. № 4–5. С. 193–214.
6. Главатских С. Ф., Трубкин Н. В. Первые находки самородных вольфрама и серебра в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // Докл. АН СССР. 2000. Т. 373. № 4. С. 523–526.
7. Карпов Г. А., Штеренберг Л. Е., Золотарёв Б. П. и др. Рудные минералы в пеплах вулкана Карымский (извержение — январь 1996 г.) // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С. 24–28.
8. Карпов Г. А., Мохов А. В. Акцессорные рудные минералы эруптивных пеплов андезитовых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 41–49.
9. Карпов Г. А., Мохов А. В. Микрочастицы самородных металлов, сульфидов и оксидов в андезитовых пеплах Карымского вулкана // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 19–35.
10. Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Шапарь В. Н. Геохимические особенности эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения. М.: Наука. 1980. 235 с.
11. Салтыковский А. Я. Причины и возможные последствия извержения исландского вулкана // Природа. 2011. № 7. С. 22–29.
12. Салтыковский А. Я., Титаева Н. А., Геншафт Ю. С. Изотопия, геохимия базальтов Исландии и мантийный плюм // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 25–38.
13. Тимонин Н. И., Юдин В. В. Исландский плюм и его воздействие на раннетриасовый вулканизм Северного Приуралья // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2003. № 12. С. 4–12.
14. Шолто А. В., Геншафт Ю. С., Салтыковский А. Я., Гренволд К. Минералогические и петрохимические особенности глубинных пород Исландии и вопросы их петрогенезиса // Вулканология и сейсмология. 1993. № 1. С. 36–54.