

УДК 553.086/551.212

## О ЗОЛОТЕ ТОЛБАЧИНСКОГО ДОЛА

*В.М. Округин<sup>1,2</sup>, Ш.С. Кудяева<sup>1,2</sup>, С.В. Москалева<sup>1</sup>, Т.М. Философова<sup>1</sup>,  
Е.Ю. Плутахина<sup>1,2</sup>, Д.А. Яблокова<sup>1,2</sup>, О.А. Зобенько<sup>1,2</sup>, М.В. Чубаров<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683006;  
e-mail:okrugin74@gmail.com

<sup>2</sup>Камчатский Государственный университет имени Витуса Беринга,  
Петропавловск-Камчатский, 683000

Золото – достаточно распространенный химический элемент в продуктах вулканической деятельности Толбачинского дола. Оно присутствует в конденсатах вулканических газов, талой воде снежных покровов возле лавовых котлов, продуктах реакций фумарольный газ – вулканическая порода (возгонах) и сублиматах [3,9,12]. В одном кубическом километре базальтового вещества содержится до 8 тонн золота (кларк Au в базальтах Толбачиках - 2,7 ppb). Авторами изучено самородное золото фумарольных площадок Второго конуса Северного прорыва и продуктов извержения ТТИ имени 50-летия ИВиС (ТТИ-50). Самородное золото ТТИ-50 найдено на поверхности лавовых потоков и среди фумарольных образований. Фумарольное золото ТТИ-50 имеет изометричную форму, обнаружено среди К-На сульфатов. В нем зафиксировано наличие палладия (до 13% вес). Золото лавовых потоков присутствует как в виде отдельных частиц размером не более 20 мкм, так и мелких включений и сростаний в ассоциирующих с ним минералах (оксиды железа, кварц). Его пробность меняется от 550 до 950. Кроме того, среди минералов из образцов лав ТТИ-50 были также диагностированы такие минералы как циркон, корунд, шпинелиды, единичные зерна пирита, сфалерита и блеклых руд.

### Введение

Толбачинский Дол - южная часть крупнейшей на Камчатке зоны моногенного вулканизма, которая пересекает Ключевскую группу вулканов. Активно Толбачинский Дол формировался в голоценовое время: 10 000 лет назад начались излияния андезибазальтов и глиноземистых субщелочных базальтов, а две тысячи лет назад появились высокомагнезиальные базальты умеренной щелочности [1,5]. Документально подтверждены три извержения на Толбачинском Долу: в 1941 г., Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) в 1975-1976 гг. и Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия ИВиС 2012-2013 гг. (ТТИ-50).

Извержение 1941 года началось 7 мая и продлилось около недели. Во время извержения излился лавовый поток магнезиальных базальтов протяженностью 5 км и объемом примерно 0,01 км<sup>3</sup> [11]. Общий объем продуктов извержения составил около 0,02 км<sup>3</sup> [4].

БТТИ началось 6 июля и проходило в два этапа: Северный и Южный прорывы. Северный прорыв (6 июля - 15 сентября) носил в основном взрывной характер. В ходе его деятельности на поверхность поступило порядка 0,9 км<sup>3</sup> тефры и 0,2 км<sup>3</sup> лавы [1]. В центральной части Дола образовалось три новых шлаковых конуса, обширное шлаково-пепловое поле и 15

лавовых потоков, которые слились в единое лавовое поле [2]. На Южном прорыве (17 сентября 1975 г. - 10 декабря 1976 г.) преобладала эффузивная активность, было извергнуто  $\sim 0.03$  км<sup>3</sup> пирокластики и  $\sim 1.0$  км<sup>3</sup> лавы [6]. На Северном прорыве извергались магнезиальные базальты, а в Южном прорыве - глинозёмистые базальты.

Извержение 2012-2013 гг. началось 28 ноября с раскрытия трещины и фонтанирования лавы в прорыве Меняйлова, который функционировал в течение трех дней. После центр извержения сместился и был сконцентрирован в прорыве Набоко вплоть до затухания вулканической активности [5]. В извержении ведущую роль среди продуктов занимали породы эффузивной фации. Лавы прорыва Меняйлова представлены глинозёмистыми трахиандезибазальтами, прорыва Набоко - более основными разностями. Извержение прекратилось в августе 2013 г. с общим объемом извергнутой трахиандезибазальтовой лавы примерно  $0,55$  км<sup>3</sup> (50,45-55,35 вес.% SiO<sub>2</sub>, 2,98-4,35 вес. % MgO) [14].

### Методы исследований

Самородное золото было обнаружено в серии образцов взятых в 2013-2015 гг. Извлечение зерен самородного золота из образцов, взятых с лавового потока, проводилось двумя способами, в основе которых был гравитационный способ. Стоит отметить, что при опробовании, упаковке и транспортировке образцов в ИВиС ДВО РАН предпринимались все меры, чтобы избежать возможного заражения. Первый способ извлечения золота - встряхивание игольчатых стекловатых агрегатов над белым листом бумаги. Таким способом были выявлены первые золотины в коллекциях февраля-мая 2013 г. Второй способ заключается в гравитационном обогащении пробы. Проба состоит из игольчатых стекловатых агрегатов общим весом около 1,5 кг, которые были отобраны с поверхности застывших лавовых рек. Полученная «тяжелая» фракция (весом  $\sim 25$  г) обработана плавиковой кислотой (HF), практически, до полного растворения силикатной матрицы.

Во время полевых работ в 2015 г. в одном из лавовых котлов были взяты образцы возгонов. Они формировали своеобразные сталактиты, сталагмиты и налеты, мощностью первые сантиметры, на поверхности застывшей лавы (рис. 1). Также с фронта лавового потока были отобраны образцы, представленные несколькими обломками аа-лавы. На неровной поверхности этих обломков были образования темно-серого до черного цветов. При изучении в лаборатории вулканогенного рудообразования эти агрегаты были диагностированы как тенорит (CuO).

В полевых условиях для экспресс определения химического состава пород использовался портативный XRF спектрометр Olympus Delta X. Отдельные моно- и полиминеральные агрегаты в лаборатории (оставшиеся после растворения осадок, образования тенорита) просматривались с помощью стереомикроскопа Stemi 2000C (Carl Zeiss). Представлявшие интерес частицы, минеральные зерна отбирались и наклеивались на углеродную ленту для дальнейшего исследования. При изучении «мономинеральных» зерен самородного золота, его сростаний и других минеральных образований, их микроморфологии, микроструктуры и химиче-



**Рис. 1.** Сталагмиты в одном из котлов лавового потока ТТИ им. 50-летия ИВиС ДВО РАН.

ского состава были применены методы классической минералогии, минераграфии и локального физико-химического анализа включающие такое современное оборудование как прецизионный стереомикроскоп Discovery V12 SteREO; последняя версия новейшего сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром Oxford Instruments X-Max. Исследования выполнялись в лаборатории вулканогенного рудообразования, Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН.

#### **Объект исследований**

Присутствие золота в продуктах БТТИ было впервые установлено сотрудниками лаборатории постмагматических процессов И.А. Меняйловым и Л.П. Вергасовой, руководимой независимой С.И. Набоко. Впервые оно было обнаружено на II конусе Северного прорыва БТТИ в 1979 г. и детально охарактеризовано Вергасовой Л.П. [3]. Она показала, что форма кристаллов типичная для фумарольных образований золота – тонкопластинчатые (треугольные, гексагональные), игольчатые, волосовидные. По составу золото – высокопробное (97% Au) до, практически, химически чистого [3].

Большое значение при транспортировке золота имеют вулканические газы. Газы БТТИ были детально изучены и в них обнаружен широкий спектр рудных элементов, а также рассчитаны примерные объемы их выноса. Так за все время извержения в составе эксгаляций вынесено Au – 2,5 т, Ag – 0,6 т [1]. Присутствие этих элементов было установлено и в конденсате вулканического газа ТТИ-50 (Au –  $6,1 \cdot 10^{-7}\%$ , Ag –  $12 \cdot 10^{-7}\%$ ,) [7].

Справедливости ради следует заметить, что первые микрочастицы самородного золота были обнаружены в бомбах последних выбросов Южного прорыва. В. Андреев – один из самых энергичных полевых исследователей действующих вулканов Ключевской группы вулканов передал В.М. Округину несколько бомб датированных 8-9 декабря 1976 года. В них при изучении тяжелой фракции в 1978 году были обнаружено несколько зерен самородного золота. По своему химическому составу оно соответствовало электруму (70-72% вес). Такой состав был и у самородного золота Мутновского золото-серебро-полиметаллического месторождения, изучением которого в то время проводилось. Трудно было поверить, в то, что это самородное золото Южного прорыва БТТИ, а не Мутновского рудного месторождения!

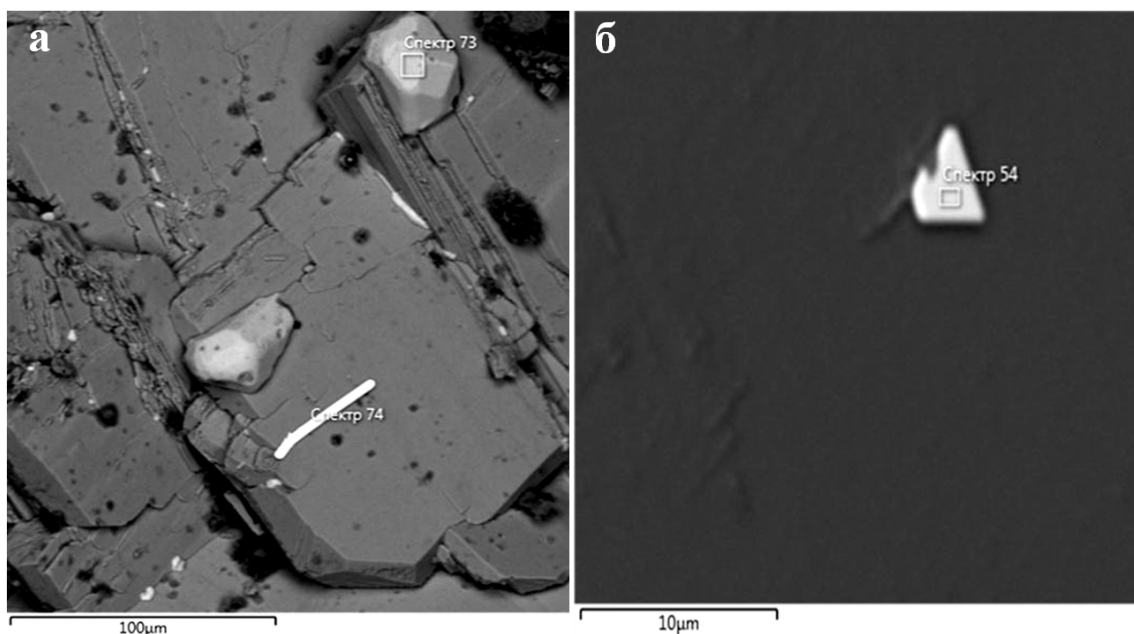
И, когда в июне 2013 года в «игольчатых агрегатах базальтовых стекол», собранных с поверхности лавовых потоков НТТИ- 50 нами вместе с сотрудниками ИГЕМа (П. Каргашевым, Т. Горностевой и А. Моховым) были обнаружены частицы самородного золота, первая мысль была - «грязь», неаккуратная работа, техногенное заражение! Потребовалось время, чтобы проверить, выехать на полевые работы (сентябрь 2013, сентябрь 2014 и август 2015 годов), отобрать, исключая малейшую возможность загрязнения при отборе, транспортировке и последующей обработке проб. Сейчас уже можно не сомневаться - самородное золото принадлежит «свежей поверхности лавовых потоков и продуктам реакций фумарольных газов с базальтами. Эти находки закономерно вытекали обнаружения золота в составе талой воды снежных покровов вокруг лавовых котлов, конденсатов магматических газов из них [8].

### Результаты

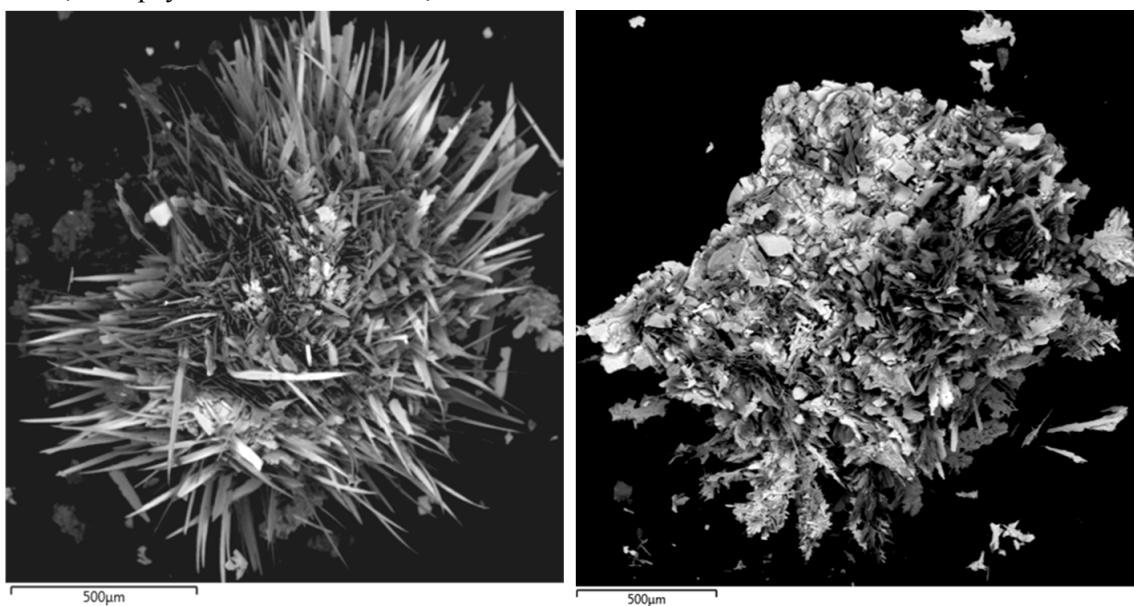
В 2015 г. сотрудники лаборатории вулканогенного рудообразования проводили полевые работы в районе Толбачинского Дола. На II конусе Северного прорыва БТТИ с помощью XRF анализатора Olympus в одном из обнажений стенок конуса определено содержание Au – 54 ppm (г/т). При изучении образцов возгонов были обнаружены кристаллы золота. Кристаллы – пластинчатые, шестоватые, призматические (рис. 2) располагались среди скоплений тенорита.

Тенорит был обнаружен и в продуктах извержения ТТИ-50 [10]. Кристаллы самородного золота также обнаружены в агрегатах тенорита, которые были отобраны с фронтальных участков различных лавовых потоков ТТИ-50 в августе – сентябре 2015 года.

Оригинальные агрегаты тенорита были собраны А.В Сокоренко летом этого же года, который любезно предоставил их для исследований. Тенорит представлен образованиями сложной формы – сростки игольчатых и листовидных кристаллов (рис. 3) темно-серого цвета с металлическим блеском. При исследовании этих агрегатов на SEM в ассоциации с теноритом и халькантитом ( $\text{CuSO}_4$ ) найдены кристаллы фумарольного золота. Пластинчатые тригональные кристаллы размером до 25-30 мкм (толщиной до 10 мкм) найдены на плоских гранях тенорита. Нередко кристаллы находятся не только на поверхности агрегатов, но и включены в сам кристалл, выходя на поверхность только одной из граней, что говорит о парагенетическом росте минералов. Неправильной, вытянутой, треугольной формы золотишки размером



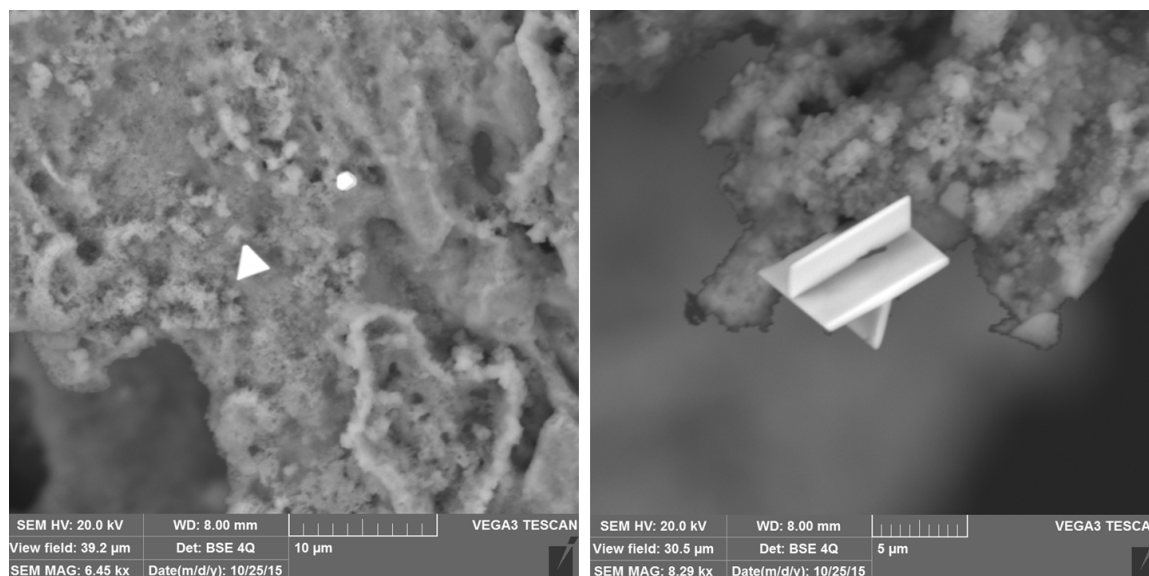
**Рис. 2.** Формы кристаллов золота из возгонов II конуса Северного прорыва БТТИ: а – шестоватый кристалл; б – треугольный. Фото BSE, SEM.



**Рис. 3.** Формы сростков кристаллов тенорита с фронта лавового потока ТТИ-50. Фото BSE, SEM.

до 10-13 мкм найдены на листовидных агрегатах тенорита (рис. 4). Зерна золота неправильной формы размером до 5-7 мкм диагностированы в нескольких случаях на поверхности листовидных агрегатов тенорита с иризацией.

В образцах возгонов ТТИ золото обнаружено в виде «затравок» размером около 1 мкм в массе К-На сульфатов с потолка ниши лавового котла (рис. 5). Микрозерна золота имеют изометричную форму и при изучении на SEM в них диагностируется палладий до 13 вес.%.



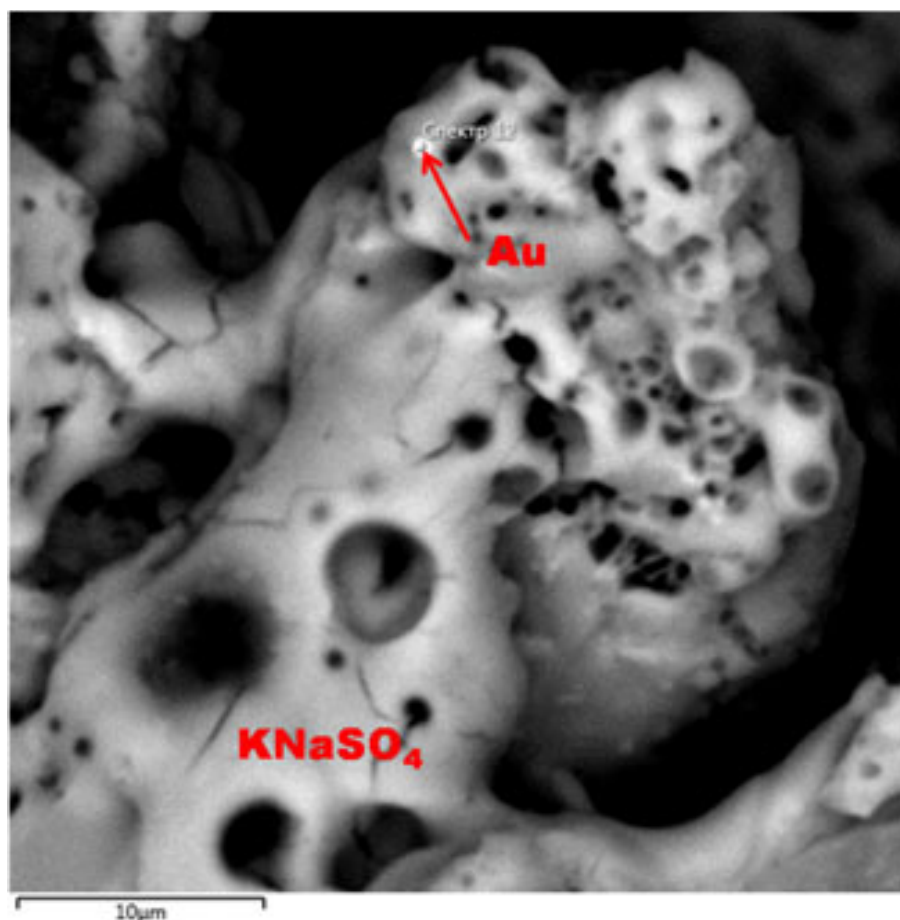
**Рис. 4.** Формы выделений самородного золота (светлое), обнаруженного на агрегатах тенорита (темное). Фото BSE. SEM.

Первые данные по изучению самородного золота ТТИ-50, полученные в 2013-2014 гг. были представлены авторами ранее [9]. Форма зерен золота, извлеченных из образцов лав гравитационным способом, простая (изометричная, слегка вытянутая). Цвет «густо-желтый», тусклый с зеленоватым оттенком. По составу - высокопробное (820-950) самородное золото. Размеры частиц 10-25 микрон, микроструктура - пористая.

Частицы самородного золота также были найдены в, оставшемся после растворения в HF, «полиминеральном осадке» пробы. Методами микрозондового анализа в этом «осадке» были диагностированы: самородное золото, циркон, корунд, кварц, оксиды железа, шпинелиды, единичные зерна пирита и сфалерита. Самородное золото - мелкое с размерами не более 10-15 мкм. Как правило, это отдельные свободные частицы (минеральные зерна). Встречены микровключения золота (первые микроны) в оксидах железа и кварце. По составу соответствует электруму, пробность меняется от 550 до 750.

### Заключение

Вулканы Толбачинского Дола отличаются от других вулканов разнообразием форм нахождения золота. Присутствие золота (в продуктах ТТИ-50) было установлено в образцах лав, возгонов, конденсатах вулканических газов, талой воде снега, отобранного с поверхности лавовых потоков в непосредственной близости от лавового котла в феврале-марте 2013 г. [7,13]. В самородном золоте диагностированы микровключения интерметаллидов типа Cu-Sn-Sb-Pb. Сведения о наличии подобных фаз в рудах и минералах постмагматических стадий Камчатки в литературе отсутствуют. В то же время, медь, олово, сурьма и свинец установлены в талых водах и конденсатах вулканических газов ТТИ [7,9]. Агрегаты самородного золота присутствуют на поверхности лавовых потоков, вблизи лавовых котлов, лавовых рек участках своеобразной разгрузки высокотемпературных «магматических» газов. В про-



**Рис. 5.** Мелкое включение самородного золота (белое) в К-На сульфате (серое) с лавового котла ТТИ-50. Фото BSE, SEM.

цессе взаимодействия таких газов с уникальными по своим текстурно-структурным особенностям изверженными породами происходило образование разнообразных минеральных сообществ - возгонов (экспаляций).

Зеленский М.Е. с соавторами считают, что большое разнообразие форм и высокая концентрация золота в продуктах извержения Толбачика связана с тем что, постепенно поднимающаяся к поверхности магма ассимилировала вмещающие породы, которые содержат золоторудные эпитегрмальные жилы [15].

Не менее правомерна и другая точка зрения. В многовековой истории вулканической деятельности Толбачинского дола таких эпизодов как БТТИ 1975-1976 гг. с локальным концентрированием самородного золота на fumarольных площадках было значимое количество. Какая-то часть них перекрывалась («консервировалась») лавами и пирокластикой более поздних извержений. Другая часть разрушалась, растворялась и где-то не так далеко концентрировалась, чтобы впоследствии попасть в зону воздействия «Новых Толбачиков». Не следует забывать, что существует группа золоторудных месторождений, приуроченных в жерловым фациям, некам и внутрикратерным структурам. Почему бы им не образовываться на

различных этапах эволюции вулканизма Толбачинского Дола?! На субвулканическом уровне, например. И не обязательно при этом накопление «запасов» до масштабов золоторудного месторождения!?! И почему именно эпитермального типа??? И наконец, аномальный тепло-массоперенос, называемый «поднимающийся к поверхности магматический расплав», мог бы изменить существующую структуру геохимического поля с перераспределением тех 8 тонн золота, приходящегося на 1 км<sup>3</sup> базальтов, ставших к тому моменту палеолавами?

В случае «попадания» минеральных ассоциаций эпитермальных золоторудных жил в зону подъема к поверхности магмы, которая в виде лавовых и пирокластических фаций предстанет очередным ТТИ, возникает вопрос устойчивости их – этих ассоциаций в аномальной физико-химической среде.

Из всего этого можно сделать вывод, что золото довольно распространенный элемент (и минерал) в продуктах как БТТИ, так и ТТИ-50. Самородное золото можно рассматривать в качестве типоморфного минерала твердых продуктов современной вулканической деятельности (фумарольных ассоциаций в частности) не только Толбачинского Дола, но и, по-видимому, всей Курило-Камчатской островной дуги.

Авторы выражают благодарность В.В. Ящуку, А.В. Биченко, Я.Д. Муравьеву, А.В. Соколенко, А.М. Округиной, Е.В. Карташевой, В.В. Куликову, А.А. Платонову за помощь в проведении исследований.

#### Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг. Камчатка) // Под ред. Федотова С.А., Флерова Г. Б., Чиркова А.М. - М.: Наука, 1984. 637 с.
2. *Быкасов В. Е.* Толбачинский Дол: особенности и динамика восстановления растительного покрова // Материалы Всероссийской конференции, посвященной 75-летию Камчатской вулканологической станции. Петропавловск-Камчатский: Издательство ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 16.
3. *Вегасова Л.П., Старова Г.Л., Серафимова Е.К. и др.* Самородное золото вулканических эксгаляций шлаковых конусов Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 2000. № 5. С. 19–27.
4. *Влодавец В.И.* Вулканы Советского Союза. Гос. изд-во геогр. литературы, 1949. 163 с.
5. *Вольнец А. О., Мельников Д. В., Якушев А. И. и др.* Трещинное Толбачинское извержение 2012–2013 гг.: первые данные о вариациях состава пород, вкрапленников и кристаллолапиллей плагиоклаза // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 29 - 30 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 32-37.
6. *Гирина О. А.* Инженерно-геологические особенности шлаков Толбачинского дола и их преобразование в ходе поствулканических процессов // Инженерная геология. 1986. №. 1. С. 32-38.



7. *Малик Н.А., Зеленский М.Е., Округин В.М. и др.* Эмиссия элементов эруптивными газами ТТИ им. 50-летия ИВиС ДВО РАН // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 29 - 30 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 92-105.
8. *Округин В.М.* Вулканическая фантазия - месяц третий // Горный вестник Камчатки. 2013. В. 1 (23). С. 79-92.
9. *В.М. Округин, Ш.С. Кудаева, С.В. Москалева, и др.* Самородное золото в продуктах ТТИ им. 50-летия ИВиС ДВО РАН // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 2015
10. *Округин В.М., Козлов В.В., Малик Н.А. и др.* Возможности сканирующей электронной и зондовой микроскопии при изучении форм нахождения меди в продуктах извержения Толбачинской зоны ареального вулканизма (Камчатка) // Тезисы докладов XIX Российского симпозиума по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел. г. Черноголовка. 2015. С. 446-447
11. *Пуйн Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944-45 гг. и в прошлом // Труды лабор. вулканол. Вып. 11. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 312 с.
12. *Юдовская М.А., Дистлер В.В., Чаплыгин И.В. и др.* Формы нахождения золота в продуктах кристаллизации современных высокотемпературных газовых флюидов вулкана Кудрявый, Курильские острова // Доклады Академии наук. 2003. Т. 391. №. 4. С. 535-539.
13. *Chaplygin I., Yudovskaya M., Vergasova L., Mokhov A.* Native gold from volcanic gases at Tolbachik 1975–76 and 2012–13 Fissure Eruptions, Kamchatka // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. Т. 307. С. 200-209.
14. *Volynets A.O., Edwards B.R., Mel'nikov D.V., et al.* Monitoring of the volcanic rock compositions during the 2012–2013 fissure eruption at Tolbachik volcano, Kamchatka // J of Volcanology and Geothermal Research. 2015. Т. 307. С.120–132.
15. *Zelenski M., Kamenetsky V. S., Hedenquist J.* Gold recycling and enrichment beneath volcanoes: A case study of Tolbachik, Kamchatka // Earth and Planetary Science Letters. 2016. Т. 437. P. 35-46.