

УДК 551.21

МАРХИНИН Е. К.

ВУЛКАНИЗМ И БИОСФЕРА

Введение. Цель данной статьи — показать многообразие аспектов связи между двумя важнейшими природными явлениями вулканизмом и жизнью. Различным сторонам взаимосвязи этих явлений посвящена значительная литература. Рассмотрим проблему в целом.

Под словом «вулканизм» понимается явление образования в глубинах Земли силикатного газосодержащего расплава магмы, подъем его и извержение на поверхность. Термин «биосфера» обозначает внешнюю оболочку Земли, являющуюся средой обитания живых организмов и включающую в себя верхние слои земной коры, нею гидросферу и атмосферу. Связь между этими двумя понятиями, по мнению автора, состоит в следующем:

1. Среда обитания живых организмов — биосфера образовалась в течение геологической истории в основном из преобратанных продуктов вулканической деятельности.

2. Химическая эволюция, приведшая к возникновению жизни, началась в вулканическом процессе с образования предбиологических органических соединений (аминокислот, порфиринов, оснований нуклеиновых кислот и др.).

3. Биосфера в существенной степени представляет собой результат взаимодействия вулканических продуктов и явления жизни. Так, в частности, первые почвы на Земле несомненно — следствие преобразования микроорганизмами вулканических пеплов, а современная кислородная атмосфера — результат взаимодействия вулканогенной, преимущественно углекислой, атмосферы и растений.

Роль вулканизма в формировании среды обитания живых организмов: земной коры, гидросферы и атмосферы. В 1964 г. на II Всесоюзном вулканологическом совещании в Петропавловске-Камчатском прозвучавший в докладе автора вывод о том, что вся геохимическая эволюция осадочной, водной и воздушной оболочек, так же как возникновение и развитие жизни, есть в конечном итоге результат преобразования с течением времени первично вулканических продуктов [19], вызвал у геологов энергичные возражения. Позднее автором был проанализирован механизм роста континентальной коры на месте океанической в областях островных дуг и опубликована книга, посвященная образованию земной коры [20]. За два десятилетия, прошедшие с тех пор, представления о ведущей роли вулканизма в формировании земной коры нашли прямое подтверждение в результате широких океанологических исследований, открытия планетарной системы срединно-океанических хребтов, явление спрединга и как следствие раскрытия механизма образования океанической земной коры. Они нашли также косвенное подтверждение благодаря быстрому развитию космических исследований и установлению важной роли вулканизма в образовании поверхностей таких планет, как Марс, Венера, Меркурий. Из всех планет Солнечной

¹ Мы ссылаемся лишь на часть публикаций.

системы только Земля имеет водную оболочку. Ее образование, безусловно, явилось важнейшим фактором возникновения на Земле жизни. Наличие жидкой воды на поверхности планеты есть следствие температурных условий: на поверхности Венеры вода присутствует в виде пара, на Марсе — в виде льда. Но поступила вода на поверхность каждой из них планет первоначально в виде пара при вулканических извержениях. Определение состава магматических газов и установление того факта, что основной его компонент — водяной пар, позволило подойти к вопросу о количестве воды (пара), высвобождающейся при вулканических взрывах, и показать определяющую роль вулканизма в образовании гидросферы и атмосферы. Мы не будем останавливаться на этом вопросе подробнее, так как ему были посвящены наши работы [23, 44].

Роль вулканизма в образовании биологически важных органических соединений. На основании сопоставления условий модельных экспериментов по синтезу аминокислот и других биологически важных веществ с условиями, существующими в пеплово-газовых вулканических столбах, автором был сделан вывод, что они представляют собой мощные природные химические реакторы, в которых возможен синтез упомянутых соединений [21]. По мнению автора, слабая сторона проводившихся ранее модельных экспериментов заключалась в том, что это были поиски наугад. Это были попытки воссоздать гипотетические условия гипотетической атмосферы добиологической Земли. На самом деле комплекс условий, воссоздавшихся в модельных экспериментах, характеризует важнейшее планетарное природное явление — вулканизм. Как в модельных экспериментах, так и в пеплово-газовых вулканических столбах «используются»: 1) одни и те же газовые компоненты (только смеси вулканических газов более сложные); 2) электрические разряды (в вулканическом процессе более мощные); 3) начальные температуры, равные 1000—900° С; 4) минеральные катализаторы (в пеплово-газовых столбах более разнообразные). Поэтому у автора были основания предполагать, что в пеплово-газовых вулканических столбах во время извержения могут образовываться биологически важные органические соединения. Извержение вулкана Тятя на о-ве Кунашир (Курилы) в июле 1973 г. дало возможность проверить это предположение. А изучение извержения камчатского вулкана Толбачик в 1975—1976 гг. подтвердило полученные при извержении вулкана Тятя результаты. Во время извержения вулкана Тятя в 1973 г. и позднее в 1975—1976 гг. при извержении вулкана Толбачик автором с помощниками (Ю. А. Аникиев, В. М. Гранник, Г. С. Шутова, А. А. Овсянников, В. Н. Андреев, В. А. Будников, А. И. Цюрупа и др.) было отобрано несколько сотен проб ювенильных вулканических пеплов, шлаков и бомб. Условия отбора и степень стерильности проб были разными. Лучшие пробы пепла и шлака отбирались в простерилизованные эмалированные ведра непосредственно у подножия извергающихся конусов во время интенсивных пеплопадов, пересыпались в простерилизованные стеклянные трехлитровые банки, которые тут же закатывались. Мелкие шлаковые бомбочки отбирались аналогичным образом или горячими с поверхности еще теплого ювенильного шлака. Образцы плотных крупных бомб были взяты от раскаленных, желто-

² Характер и масштабы развития эруптивной газопылевой струи в основном определяются энергетикой материала, участвующего в образовании эруптивного облака. В 50-е годы автором было показано, что для обеспечения кинетической энергии выбрасываемого при вулканическом извержении пирокластического материала достаточно присутствия в магме перед взрывом нескольких весовых процентов воды [17, 43]. Позже были опубликованы работы [48, 32, 37], в которых оценивался общий энергетический баланс газопылевого материала вносимого при извержении эруптивной струей, который включал водяной пар и раскаленную пирокластику. При этом весовое содержание газа (представленного практически водяным паром) оценивалось, например, Северного прорыва БТТИ величиной 9% по весу [27].

красных при дневном свете обрывков лавы, медленно остывающих в воронках, выбитых в ювенильном шлаке. Для анализа на углеводороды отбирались также пробы из истоков жидких базальтовых речек Южного прорыва Толбачинского извержения. Температура лавы в истоках превышала 1050° С. При систематическом анализе отобранных проб вулканических продуктов на органические вещества в них помимо углеводородов и гетероатомных соединений были обнаружены также биологически важные молекулы [21, 45]. Изучение ювенильных пеплов, шлаков и бомб на содержание в них биологически важных веществ проводилось в нескольких лабораториях ряда институтов с использованием современных методов. Координация аналитических работ осуществлялась Н. Е. Подклетновым. В пепле вулкана Тятя обнаружено семь свободных аминокислот: аспарагиновая кислота, треонин, серии, глицин, аланин, изолейцин и лейцин. В пепле вулкана Толбачик четыре: треонин, серии, глицин и аланин. Остальные аминокислоты обнаружились после гидролиза, т. е. они находились в связанном состоянии. Интересно, что нахождение аминокислот в связанной форме характерно и для метеоритов. В продуктах опытов по абиогенному синтезу аминокислот относительно много глицина и аланина. То же мы видим и в вулканических продуктах. Следует отметить, что в вулканических пеплах в общем обнаружены те же аминокислоты, что и в продуктах синтеза из смеси простых газов в экспериментах Харады и Фокса, проводившихся при температуре 900—1100° С с использованием силикатных пород в качестве катализатора [22]. Обнаруженные в пепле вулкана Тятя аминокислоты находятся в связанной форме. По данным исследований на аминокислотном анализаторе, их количество составило для глюкозамина 72 наномоля, а для галактозамина 35 наномолей в 250 г пепла. Порфирины в пеплах вулкана Тятя присутствуют в виде металлокомплексов, комплексов с аминокислотами и свободных оснований. Их суммарное содержание определено в 5-10 %. В бомбе вулкана Толбачик порфирины обнаружены в комплексе с металлами. Для осадочных пород и почв характерно содержание дигидропорфиринов (хлоринов). В вулканических пеплах они не обнаружены. Это косвенное свидетельство в пользу абиогенности органического вещества пеплов. Нуклеиновый материал также присутствует в пеплах вулканов Тятя и Толбачик. В нем идентифицированы урацил, тимин и гуанин. Общее количество биологически важных соединений в пепле вулкана Тятя, извергнутом в 1973 г., определяется приблизительно в 200 т. В том числе: аминокислот 40 т, аминокислот 16, порфиринов 8, пиримидинов 150 т. Рассчитанное количество аминокислот в пепле вулкана Толбачик, извергнутом в 1975—1976 гг., близко к 100 т [22, 26].

В последние годы разными исследователями были проведены лабораторные эксперименты по синтезу биологически важных соединений в условиях, моделирующих вулканические [4, 24, 26]. Результаты, как и следовало ожидать, оказались положительными.

Химическая эволюция от образования биологически важных молекул до возникновения живых организмов. Она наименее ясна. Ее ключевыми моментами были: полимеризация «органических» молекул, появление метаболизма, возникновение генетического кода [25].

Каждое из этих явлений представляет собой крупную проблему. Представляется вероятным, что эти явления на заре геологической истории, в канун возникновения жизни, возникали и протекали в районах активных вулканов и гидротермальной деятельности. Этому должно было способствовать: образование биологически важных молекул в результате вулканических процессов; широкое развитие в вулканических областях гидротермально измененных пород и среди них глин, силикагелей, цеолитов, т. е. минеральных веществ, обладающих развитой поверхностью и могущих играть роль минеральных матриц [46]; прогретость минеральных поверхностей, а также наличие горячих озер, источ-

ников и водотоков; выделение различных газовых компонентов, из которых некоторые могли быть использованы для метаболизма.

Химическая эволюция вулканогенных биологически важных органических соединений привела к возникновению жизни. Расселение живых организмов во внешних оболочках Земли означало появление биосферы³.

Вулканизм и микроорганизмы. Взаимодействие между вулканогенными органическими веществами и другими вулканическими продуктами и процессами началось еще на стадии химической, добиологической эволюции. Оно продолжалось в период возникновения жизни, которая первоначально могла быть представлена только относительно примитивными микроорганизмами. Вероятнее всего, это были термофильные анаэробные литотрофы. Можно предполагать, что термофилия была постепенно утрачена большинством видов микроорганизмов в более поздних поколениях в связи с завоеванием ими все больших и больших пространств и все большим удалением от активных вулканов. Появление аэробных микроорганизмов было, очевидно, связано с преобразованием бескислородной атмосферы в кислородную благодаря действию фотохимического эффекта.

Начало жизнедеятельности первых микроорганизмов на вулканах знаменовало появление нового важного фактора преобразования вулканических продуктов, нового геологического агента, которому предстояло сыграть огромную роль в истории Земли [7].

В настоящее время уделяется большое внимание изучению биохимического выветривания горных пород и минералов, которое происходит с участием микроорганизмов и может рассматриваться как начальный этап процессов почвообразования. Разрушая минералы, микроорганизмы превращают калий и другие зольные элементы в усвояемую высшими растениями форму. Многими исследователями проводились наблюдения биологического выветривания горных пород в природных условиях. В лабораторных условиях также установлена способность бактерий, диатомовых и зеленых водорослей и грибов и разрушать алюмосиликаты, Н. Н. Ляликова [15] отмечает, что микроорганизмы действуют на силикаты и алюмосиликаты, образуя кислые или щелочные метаболические продукты. При этом некоторые бактерии и водоросли выделяют слизи, которые способны образовывать комплексные соединения с рядом элементов. Так, например, фенолы микробного происхождения могут давать комплекс с кремнием. Установлено, что при недостатке некоторых химических элементов бактерии могут добывать их, разрушая минералы. Исследование вулканических пеплов с этой точки зрения представляет собой особый интерес, так как в этом случае мы имеем дело с веществом, которое впервые непосредственно поступает в биосферу и, как мы неоднократно подчеркивали [22], представляет собой главный исходный материал для процессов вулканогенного литогенеза (основной продукт), из которого в условиях биосферы образуются осадочные горные породы. Пепел представляет собой субстрат, во много раз более благоприятный для жизнедеятельности микроорганизмов и протекания процессов почвообразования, чем скальные вулканические породы. Изучение заселения микроорганизмами вулканических пеплов и шлаков после извержения проводилось на вулканах Суртсей, Тятя, Толбачик [13, 31, 42]. Изучение жизнедеятельности микроорганизмов в пеплах ряда вулканов проводила Т. И. Кузьякина [13]. Она отмечает, что анализы пеплов вулканов Тятя, Алайд, Толбачик и Безымянный, отобранных в момент извержения, показали, что в них практически не содержалось микроорганизмов. Ни методом посева на плотные питательные среды, ни методом люминесцентной и электронной микроскопии микроорганизмы не были

обнаружены, пеплы были стерильны. Но свежевыпавшие пеплы вулканов не токсичны для микроорганизмов. При посеве бактерий — тестов *Microciclus major*, *Mucrociclus aguticus*, *Becillus megaterium* на пепловые среды не наблюдалось задержки их роста и развития, т. е. пеплы не обладали микробостазисом.

Из микроорганизмов, оседающих на пеплах (в основном из воздуха, с атмосферными осадками, при таянии снега), могут выжить только те, которые обладают экономным метаболизмом и приспособились к «бедным» условиям существования.

Размножаясь в бедном органическими питательными веществами грунте, микроорганизмы сами обогащают этот грунт органическим веществом. Тем самым они создают условия для произрастания на этом грунтопочве высших растений. Отмершие высшие растения служат источниками энергии жизнедеятельности новых поколений микроорганизмов. Процессы микробного дыхания и брожения приводят к образованию многочисленных сложных органических соединений, активно участвующих во внутрипочвенном выветривании.

Процессы выветривания в вулканических почвах исследовались И. А. Соколовым. По степени устойчивости к выветриванию твердые минеральные частицы располагаются в последовательности: основное вулканическое стекло, плагиоклазы, пироксены, роговые обманки, кислое стекло, кварц. Выветривание сопровождается выносом кремнезема, щелочноземельных элементов и накоплением полуторных окислов, особенно алюминия. Возникающие при выветривании гидроокислы алюминия и кремния часто образуют аморфный минерал — аллофан. Как отмечали исследователи, он является господствующим вторичным минералом в большинстве вулканических почв [22].

Термофильные микроорганизмы — специфическая экологическая группа микроорганизмов. Экстремально термофильные микроорганизмы не могут расти при температурах ниже 40—45° С. Есть данные о том, что определенными особенностями обладают их белки, жиры, ферменты, а также структурные элементы — оболочка, мембраны, рибосомы. Очевидно, изучение микроорганизмов, обитающих в горячих вулканических источниках, представляет исключительный интерес. Это изучение имеет уже некоторую историю. Й. Эмото [40] привел данные о жизнедеятельности ряда бактерий и водорослей в горячих источниках Японии. С. И. Кузнецов [12] изучал микроорганизмы горячих ключей Камчатки и установил, что они способны расти при температурах 90—95°С. Т. Брок с соавторами в США [35—37] показал, что некоторые микроорганизмы размножаются в источниках при еще более высоких температурах. Он пришел также к выводу, что с повышением кислотности воды верхний предел температур, при которых возможна жизнедеятельность микроорганизмов, понижается. Кислая реакция, очевидно, усиливает экстремальное воздействие высоких температур [37, 38]. Участие микроорганизмов в поствулканических процессах и их жизнедеятельность в гидротермах, связанных с вулканизмом, описаны также в работах М. В. Иванова и Г. И. Каравайко [10], Г. А. Заварзина с соавторами [8], Дж. Эрлиха и Дж. Шоу [39], Тен Хак Муна [29, 30].

Несмотря на многочисленные и разнообразные исследования, проведенные специалистами на термальных площадках в областях современного вулканизма, в большинстве работ не отражена тесная связь гидротермального и микробиологического процессов. Наиболее полно освещены эти вопросы в работе Г. А. Заварзина и Г. А. Карпова на примере кальдеры Узон [9]. Т. И. Кузякина отмечает, что современная газогидротермальная деятельность в кальдере вулкана Головина (о-в Кунашир, Курильские острова) также представляет яркий пример взаимодействия глубинных эксгалиций и микробной деятельности. Бактерии сернокислотного выщелачивания — *Thiobacillus thiooxidans*, *T. ferrooxidans*, *Sul-*

folobus acidocaldaris «работают» здесь в серных буграх, давая начало потокам кислых вод. Интенсивное бактериальное сернокислотное выщелачивание под воздействием ацидофильных тионовых бактерий происходит и на окраинах сольфатарных полей. С превращениями серы связана судьба минералов, содержащих такие элементы, как As, Sb, Hg, Fe.

Г. А. Заварзиным и Г. А. Карповым [9] проводилось изучение строения и условий образования водорослево-бактериальных пленок из термальных источников кальдеры вулкана Узон, частично карбонатизированных и кремнеземных и строящих строматолитоподобные постройки в форме пологих куполов. Строматолитоподобные постройки образуются на выходах термальных вод, в них в изобилии сохраняются окремневшие остатки синезеленых водорослей и других микроорганизмов. Г. А. Заварзиным установлено, что образующиеся современные микрофосилии имеют много черт сходства с древнейшими докембрийскими микрофосилиями *Eomycetopsis*, *Chinobotrydoin*, *Palaeolynabua* и др.

В последнее время некоторые работы по термофильным микроорганизмам привлекли большое внимание. У. Хайнен и А. Ловерс в лабораторных условиях добились нормальной скорости роста бактерий при 100° С, а при увеличении давления рост наблюдался и при 105° С [41]. И. Барос и И. Деминг опубликовали статью о росте неспорообразующих бактерий — автотрофов даже при температурах свыше 250° С и высоких давлениях. Такие бактерии были, как пишут авторы, обнаружены ими в подводных гидротермах Восточно-Тихоокеанского поднятия (21° N) в так называемых «черных курильщиках» [34]. Данные эти, впрочем, поставлены под сомнение [47].

Влияние вулканизма на окружающую среду. Как мы выше показали, влияние вулканизма на окружающую среду в геолого-историческом аспекте выразилось в поставке ювенильного материала на ее формирование (в глобальном масштабе — на образование биосферы) экзогенными агентами, и в том числе живыми организмами. Если рассматривать влияние вулканизма на биосферу (окружающую среду в глобальном масштабе) за короткие временные интервалы, на первый план выступает проблема его влияния на климат. Это влияние осуществляется благодаря заметному изменению свойств атмосферы из-за поступления в нее значительных объемов мельчайшей пыли, а также сернистых газов во время гигантских взрывных извержений. Яркий пример — извержение вулкана Кракатау в 1883 г., которое отразилось на явлении зорь в глобальном масштабе. Сложно и многогранно влияние вулканизма на окружающую среду в вулканических регионах. Оно, естественно, зависит от количества действующих вулканов на той или иной территории, характера и силы извержений, их числа, приходящегося на единицу времени [8]. Проблема тесно смыкается с проблемой вулканического районирования и прогноза вулканической опасности, но при ее решении учитываются менее очевидные и более отдаленные последствия извержений. В последнее время появилось значительное число работ, посвященных влиянию вулканизма на экосистемы, на фитоценозы, на ихтио-, орнито- и териофауны [5, 6, 14, 16, 28]. Мы не можем останавливаться на этих интересных исследованиях и отсылаем читателя к упомянутым публикациям.

Неоднократно приводились примеры и цифры, характеризующие колоссальный вынос вулканами летучих компонентов в окружающую среду. Многие из них являются биологически активными веществами. Приведем еще несколько цифр. Во время извержения вулкана Толбачик проводилось высотное самолетное зондирование по поперечным сечениям, отстоящим от кратера на расстояниях 100 и 50 км в пределах высот 0,1—6,5 км [1]. Целью этого зондирования была оценка выноса продуктов извержения в атмосферу. Было определено, что за сутки вулкан Толбачик выбрасывал (даны минимальные цифры): сернистого газа

23 тыс. т; сероводорода 0,2 тыс. т; окиси азота 4,3 тыс. т; паров ртути — $1,2 \times 10^{-3}$ тыс. т; радона — 2 мси.

Авторы [1] отмечают, что повышенные концентрации сернистого газа и пыли (0,05 и 0,5—1 мг/м³ соответственно) наблюдались в радиусе 300—500 км. Согласно их данным, поступление в атмосферу пыли и газов в результате извержения сопоставимо с поступлениями в атмосферу антропогенных пыли и газов. Влияние вулканизма на атмосферные осадки и воздух на Камчатке исследовала Л. А. Башарина [3]. Она отмечает, что атмосферные воды в окрестностях активных вулканов характеризуются относительно высокой общей минерализацией (60—450 мг/л), низким значением рН (2,5—5), высоким содержанием ионов Cl⁻ и SO₄²⁻. Максимальная минерализация атмосферных осадков характерна для периодов, следующих за извержениями. Согласно Л. А. Башариной, следует отличать временное загрязнение атмосферы, связанное с сильными извержениями, и постоянное в периоды между извержениями. Интересно, что отношение Cl/Vг в атмосферных осадках в районах активных вулканов Камчатки достигает 785, в то время как обычно это отношение близко к 300. Это говорит о постоянном локальном влиянии на состав атмосферы галоидов вулканического происхождения [3].

Чрезвычайно интересные результаты по составу атмосфер сольфатарных полей вулканов о-ва Кунашир (Менделеева, Головнина, Тятя) получены В. А. Исидоровым (Ленинградский университет). Им были взяты пробы воздуха с целью определить фон органических компонентов в районах вулканической активности. Пробы подвергались хромато-масс-спектрометрическому и хроматографическому анализу с использованием капиллярной и насадочных колонок и селективных детекторов (электронно-захватному на атомы галогенов и пламенно-фотометрическому на серу).

Всего обнаружено 58 органических соединений. Из них 39 — углеводороды C₃ — C₁₁, восемь альдегидов и кетонов C₂ — C₇, два азотосодержащих соединения (нитрилы), пять галогенсодержащих производных углеводородов C₁ — C₂. Во всех образцах есть неорганические соединения серы — диоксид, сероводород, а также в меньших количествах сероокись углерода COS и сероуглерода CS₂. Получены некоторые полуколичественные данные. Из органических соединений в наибольших количествах в атмосфере сольфатарных полей присутствует бензол. На его долю приходится около 50% площади всех пиков на хроматограммах.

Камчатка и Курильские острова, так же как и другие области активного вулканизма, представляют собой специфическую медико-географическую провинцию. Она вызывает особый интерес, связанный с возможностью изучения здесь биологического действия многих химически активных соединений глубинного происхождения. Эти соединения поступают в окружающую среду при вулканических извержениях и постоянно выносятся сольфатарами и горячими источниками. Их действие, естественно, особенно сильно проявляется на площадях, примыкающих к активным вулканам, но ареолы их влияния гораздо шире.

Согласно А. П. Ильницкому, именно в районе действующих вулканов была впервые отмечена высокая токсичность природных объектов, содержащих фтор, которая затем была подтверждена наблюдениями в областях расположения месторождений фторопатитов. В областях активного вулканизма содержание фтора в различных объектах окружающей среды зачастую бывает повышенным. Для оценки санитарной опасности загрязнения среды фтором весьма существенно, что при извержении вулканов различного типа с разным химическим составом лавы содержание фтора, сорбированного пеплами, неодинаково. В отдельных небольших водоемах концентрации фтора могут достигать 10—20 мг/л, как это было, например, при извержении вулкана Толбачик в 1975—1976 гг. Как отмечается в [11], потребление такой воды без опасности

для дорыва возможно лишь в течение очень ограниченного времени, яремного днями. Считают [2], что флюороз зубов — это только первоначальный симптом более серьезных нарушений в кальциевом обмене организма при интоксикации высокими дозами фтора. Отмечается, что очаги эндемического флюороза приурочиваются, в частности, к областям вулканической активности (Япония, Камчатка, Сицилия и др.).

А. П. Ильинский с соавторами [11] рассмотрели роль вулканов в формировании природного уровня канцерогенных полициклических ароматических углеводородов. Они считают вероятным ежегодное поступление в биосферу как минимум нескольких тонн бензопирена. Есть основание ожидать в вулканических продуктах соединений, которые способны усилить действие канцерогенных веществ (так называемых коканцерогенов).

С медицинской точки зрения большой интерес представляет также изучение в районах активного вулканизма биогеохимии соединений мышьяка, кадмия, цинка, меди и мн. др. Их влияние может быть не только отрицательным, но и благотворным. Общеизвестно, например, бальнеологическое действие термальных вод вулканических районов, В заключение отметим, что изучение биологических и медицинских аспектов формирования окружающей среды в областях активного вулканизма — совершенно новая задача, подлежащая пристальному вниманию, в частности в связи с тем, что в этих районах и в непосредственной близости к ним проживают значительные контингенты населения. Цель настоящей статьи — показать многообразие аспектов связи между двумя важнейшими планетарными явлениями — вулканизмом и жизнью. Для научного направления, изучающего все эти аспекты, был предложен термин «биовулканология». Задачи этого научного направления были сформулированы в [22].

Из изложенного очевидно крупное теоретическое значение биовулканологии, могущей внести свой вклад в решение вопросов происхождения жизни и образования биосферы.

Несомненно также большое практическое значение многих ее аспектов. Практически важны: технология синтеза органики в условиях, имитирующих вулканические; изучение термофильных микроорганизмов с целью выделения ферментов с повышенной биологической активностью; исследования влияния вулканизма на окружающую среду.

Автор благодарен чл.-кор. АН СССР С. А. Федотову за полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамовский В. П., Алимов В. Н., Ионов В. А., Назаров И. М., Патракеев С. И., Федотов С. А., Чирков Б. П. Выброс в атмосферу газообразных и аэрозольных продуктов извержения вулкана Толбачик (Камчатка).— Докл. АН СССР, 1977, т. 237, вып. 6, с. 1479—1482.
2. Арутюнов В. Д., Бабель И. В., Белякова Т. М., Жаворонков А. А., Флюороз как биогеохимическая эндемия, связанная с избыточным содержанием фтора в природных водах.— В кн.: Микроэлементы в ландшафтах Советского Союза М., 1969, с. 194—203.
3. Башарина Л. А. Влияние вулканической деятельности на химический состав атмосферных осадков и воздух Камчатки.— Бюл. вулканол. ст., 1974, № 40, с. 104—111.
4. Бондарев В. Б., Поринев Н. В. Количественный анализ продуктов термического синтеза, моделирующего вулканическое извержение, газохроматографическим методом (система $\text{CH}_4\text{—H}_2\text{O}$).—Докл. АН СССР, 1980, т. 252, № 2, с. 455—458.
5. Быкасов В. Е. Шлаково-пепловый чехол извержения 1975 г. и поражение растительности Толбачинского дола.— Вулканология и сейсмология, 1981, № 1, с. 76—78.
6. Воронов В. Г. Влияние изоляции и современного вулканизма на формирование териофауны Курильских островов: Первый международный териологический конгресс (рефераты докладов). Т. 1. М.: ВИНТИ. 1974.
7. Заварзин Г. А. Литотрофные микроорганизмы. М.: Наука, 1972. 324 с.
8. Заварзин Г. А., Васильева Л. В., Трыкова В. В. Об участии микроорганизмов в пост-вулканических процессах.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1967, № 4.
9. Заварзин Г. А., Карпов Г. А. Роль бактериальных факторов в современном гидро-

- термальном минералообразовании кальдеры Узон.— Докл. АН СССР, 1982, т. 264, № 1, с. 244—247.
10. *Иванов М. В., Каравайко Г. И.* Роль автотрофных бактерий в окислении вулканогенной серы.—Тр. МОИП, 1966, т. 24, с. 221.
 11. *Ильницкий А. П., Гвильдис В. Ю., Мищенко В. С., Шабад Л. М.* О роли вулканов в формировании природного уровня канцерогенных веществ.— Докл. АН СССР, 1977, вып. 3, с. 717.
 12. *Кузнецов С. И.* Микроорганизмы горячих ключей Камчатки.—Тр. Ин-та микробиологии, 1955, вып. IV.
 13. *Кузякина Т. И.* Микробиологические исследования пеплов, отобранных во время извержения вулканов.— Вулканология и сейсмология, 1983, № 2, с. 92—94.
 14. *Куренков И. И.* Изменение биологической продуктивности озера под влиянием вулканического пеплопада.— В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975.
 15. *Ляликова Н. Н.* Геологическая деятельность бактерий.— В кн.: Жизнь растений. Т. 1. М., 1975, с. 413—419.
 16. *Манько Ю. Я.* Влияние современного вулканизма на растительность Камчатки и Курильских островов.— Комаровские чтения, вып. XXII. Владивосток, 1974, с. 5—31.
 17. *Мархинин Е. К.* О количестве ювенильной воды, участвующей в вулканических взрывах — Докл. АН СССР, 1958, т. 119, вып. 3, с. 537—539.
 18. *Мархинин Е. К., Сирин А. Н., Тимербаева К. М., Токарев П. И.* Опыт вулканогеографического районирования Камчатки и Курильских островов.— Бюл. вулканол. ст., 1962, № 32, с. 52—70.
 19. *Мархинин Е. К.* Роль вулканических продуктов в формировании земной коры.— Тез. докл. ко II Всес. вулканол. совещ. Петропавловск-Камчатский, 1964.
 20. *Мархинин Е. К.* Роль вулканизма в формировании земной коры. М.: Наука, 1967, с. 255.
 21. *Мархинин Е. К.* Предбиологические соединения в пепле вулкана.— Природа, 1974, № 8, с. 71—78.
 22. *Мархинин Е. К.* Вулканы и жизнь. М.: Мысль, 1980. 200 с.
 23. *Мархинин Е. К.* Роль вулканизма в образовании морской воды.— В кн.: Вулканизм и литогенез. Тбилиси, 1981, с. 18—25.
 24. *Мухин Л. М., Бондарев В. Б., Калинин В. И., Сафонов Э. И., Петренко Ю. С.* Синтез органических соединений в условиях, моделирующих вулканическую деятельность.— Докл. АН СССР, 1976, т. 226, № 5, с. 1225—1228.
 25. *Опарин А. И.* Материя > Жизнь > Интеллект. М.: Наука, 1977, с. 208.
 26. *Подклетнов Н. Е.* Вулканогенное органическое вещество. М.: Наука, 1985.
 27. *Слезин Ю. Б., Федотов С. А.* Физические характеристики извержения.— В кн.: Большое трещинное Толбачинское извержение. М.: Наука, 1984, с. 143—171.
 28. *Стенченко А. М.* Миграции водоплавающих и куликов через кальдеру вулкана Узон.— Мат. Всес. конф. по миграции птиц, ч. II. М., 1975, с. 249—250.
 29. *Тен Хак Мун.* Особенности микробиологии гидротерм.— В кн.: Е. К. Мархинин, Д. С. Стратула. Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977, с. 194—198.
 30. *Тен Хак Мун.* Об участии микроорганизмов в осажении серы в термальных источниках.— В кн.: Е. К. Мархинин, Д. С. Стратула. Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977, с. 198—200.
 31. *Тен Хак Мун, Рогова О. А.* Микробная колонизация вулканических пеплов.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1980, № 2, с. 261—266.
 32. *Федотов С. А.* Оценка выноса пепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков.— Вулканология и сейсмология, 1982, № 4, с. 3—29.
 33. *Флоровская В. Нью, Теплицкая Т. А., Мархинин Е. К., Подлетное Н. Е.* Полядерные арены в продуктах вулканических извержения.— Докл. АН СССР, 1978, т. 240, № 1, с. 221—222.
 34. *Baross I. A., Denting I. W.* Growth of «black smoker» bacteria at temperatures of at least 250° C—Nature, 1983, v. 303, p. 423—426.
 35. *Brock T. D.* Life at high temperature.—Science, 1967, v. 158, № 3804, p. 1012.
 36. *Brock T. D.* Thermophilic microorganisms and life at high temperatures.— Springer Verlag, 1978, № 8, p. 12.
 37. *Brock T. D., Darland L. K.* Limits of microbial existence: temperature and pH.— Science, 1962, v. 169, № 3952.
 38. *Brock T. D., Freeze H.* Thermus aquaticus gen. n. and sp. n., a nonsporulating extreme thermophile.—T. Bacter, 1969, v. 98, № 1.
 39. *Ehrlich J., Schow J.* Possible role of sulfur-oxidizing bacteria in sulfuric acid alteration near hot spring.— Geol. Surv. Prof. Paper, 1967, № 575-C, p. 110.
 40. *Emoto J.* Die Microorganismen der Thermen.— Botan. Mag., 1933, v. XLVIII, № 556, p. 268.
 41. *Heinen W., Lauwers A. M.* Growth of bacteria at 100° C and beyond.— Arch. Microbiol., 1981, v. 129, № 2, p. 127.
 42. *Henriksson L., Henriksson E.* Occurrence of fungi on the volcanic island of Surtsey, Iceland.— Acta Botanica Islandica, 1974, № 3, p. 82—88.

43. *Markhinin E. K.* On the possibility of estimating the amount of juvenile water, participating in volcanic explosion.— *Bull. Volcanol.*, 1962, t. XXIV, p. 187—191.
44. *Markhinin E. K.* Volcanism as an agent of formation of the earth's crust: Monogr. 12, Amer. Geophys. Union, Wash., 1968, p. 413—422.
45. *Markhinin E. K., Podkletnov N. E.* The phenomenon of formation of prebiological compounds in volcanic processes.— *Origins Life*, 1977, № 3, p. 225—235.
46. *Otroshchenko V. A., Vasilyeva N. V.* The role of mineral surfaces in the origin of life.— *Origins Life*, 1977, № 8, p. 25—31.
47. *White R. H.* Hydrolytic stability of biomolecules at high temperatures and its implication for life at 250° C— *Nature*, 1984, v. 3102, p. 430—432.
48. *Wilson L., Sparks R. S. J., Huang T. C., Watkins N. D.* The control of volcanic column heights by eruption energetics and dynamics.— *J. Geophys. Res.*, 1978, v. 83, № B4, p. 1829—1836.

Институт вулканологии
ДВНЦ АН СССР

Поступила в редакцию
27.I.1985

