

БИОЛОГИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1988/2

Е.Г.Лобков
ВУЛКАНЫ
И ЖИВЫЕ
ОРГАНИЗМЫ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

БИОЛОГИЯ

2/1988

Издается ежемесячно с 1967 г.

Е. Г. Лобков,

кандидат биологических наук

ВУЛКАНЫ И ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

(Экологические проблемы в биовулканологии)



Издательство «Знание» Москва 1988

ББК 26.321
Л 68

ЛОБКОВ Евгений Георгиевич — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Кроноцкого государственного биосферного заповедника. Автор более 70 научных публикаций, в том числе монографии.

Рецензент: Мархинин Е. К. — доктор геолого-минералогических наук.

СОДЕРЖАНИЕ

Что такое биовулканология?	3
Микроорганизмы — преобразователи вулканических продуктов	6
Непосредственное и косвенное влияние вулканов на живые организмы	15
Зоны воздействия вулканогенных факторов	51
Заключение	63
Литература	64

Лобков Е. Г.

Л 68 Вулканы и живые организмы (Экологические проблемы в биовулканологии). — М.: Знание, 1988. — 64 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер «Биология»; № 2).

11 к.

Биовулканология — научное направление, изучающее многообразие аспектов связи между двумя важнейшими планетарными явлениями — вулканизмом и жизнью. Брошюра посвящена анализу экологических проблем в биовулканологии. Автор впервые систематизирует разнообразный материал, относящийся к изучению влияния вулканизма на живую природу.

1804030000

ББК 26.321



Что такое биовулканология?

Выход в свет книги Е. К. Мархина «Вулканы и жизнь (Основные проблемы биовулканологии)»¹ свидетельствует о появлении нового научного направления на стыке биологии и вулканологии. Казалось бы, что общего между наукой о живом и наукой о вулканах? Жизнь и пламя — совместимы ли они? Но таков наш век — век синтеза наук, когда «невероятное» становится «очевидным».

Следы вулканической деятельности прослеживаются на протяжении всей известной истории Земли — от архея до современности. Вулканизм — один из процессов, сформировавших нашу планету, изменивших (и изменяющих) ее облик. Как космическое явление вулканизм присущ не только Земле, но и другим космическим телам: Луне, спутникам Юпитера, ряду планет Солнечной системы. Существуют теории вулканогенного происхождения земной коры, атмосферы, Мирового океана и даже сложных органических соединений, дальнейшая эволюция которых привела к возникновению жизни.

Роль вулканических процессов в химической эволюции от образования предбиологических органических соединений до возникновения жизни — одна из проблем биовулканологии. Другая проблема — значение вулканизма в формировании среды обитания живых организмов: земной коры, гидросферы и атмосферы, в становлении биосферы.

Вулканическая деятельность связана с перемещением вещества и тепла в недрах земли. В этом суть глобального вулканизма как единого процесса, т. е. образование в глубинах земли силикатного, насыщенного газом расплава-магмы, подъем и извержение его на по-

¹ Мархин Е. К. Вулканы и жизнь, — М.: Мысль, 1980, — 200 с.

верхность. На поверхности земли вулканические породы включаются в круговорот геологических и химических процессов и, изменяясь, становятся тем исходным материалом, в результате дальнейшей переработки которого образуются различные породы, составляющие земную кору. Таким образом, твердая фаза магмы, т. е. окаменевший силикатный расплав, и представляет собой продукт, в результате преобразования которого формировалась земная кора. Помимо того, вулканы извергают из недр планеты и летучие компоненты магмы. Ведь вулканический взрыв есть следствие расширения объема магматических газов. Установлено, что их основной компонент — водяной пар. Кроме того, они содержат все компоненты, составляющие гидросферу и атмосферу нашей планеты. Накапливаясь, магматические газы стали определяющими в образовании гидросферы и атмосферы.

На Земле свыше 800 действующих вулканов. Мархин подсчитал, что в год они выносят на поверхность планеты 3—6 млрд. т вещества. Расчеты показывают, что в течение геологической истории за счет вулканической деятельности на поверхность земли поступило такое количество твердых и летучих компонентов, которого вполне хватило для формирования внешних оболочек планеты. Взаимодействие преобразованных продуктов вулканической деятельности и явлений жизни стало определяющим в процессе формирования биосферы, включающей в себя верхние слои земной коры, гидросферу и атмосферу.

Академик В. И. Вернадский рассматривал живое вещество как совокупность живых организмов биосферы, а косное вещество считал абиогенным, так как в его создании организмы не участвуют. Действительно, живые организмы сами не создают химических элементов. Их поставляют вулканы.

Есть еще один аспект в оценке связи, соприкосновения вулканологии и биологии: вулканы и живые организмы.

Вулканическая деятельность — мощный экологический фактор. Сильные извержения приводят к резким, часто катастрофическим изменениям в экосистемах. В глобальном масштабе это прежде всего влияние на климат, ибо поступающее в атмосферу огромное количество мельчайшей пыли и газов изменяет оптические и химические свойства атмосферы. В региональном и ме-

стном аспектах — это влияние физических факторов и биологически активных соединений на водоемы, почву, растительность и животных, на человека и среду его обитания.

Экономические оценки свидетельствуют о катастрофических последствиях извержений для природы и хозяйственной деятельности. По сообщению Департамента рыбы и дичи штата Вашингтон в результате извержения Сент-Хеленса в 1980 г. погибло 1,5 млн. различных диких животных. В их числе 5250 лосей, 6000 оленей, 200 медведей, 100 снежных коз, 15 пум. Кроме того, 441 177 промысловых рыб (поразительная скрупулезность в оценке). Было уничтожено 195 квадратных миль естественных местообитаний, 154 км рек и 26 озер. Ущерб природе оценивается суммой 522 300 570 долл., а общий экономический ущерб штату (сведения Департамента экономического развития и торговли) — 970 млн. долл.

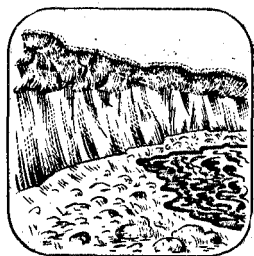
Печальная статистика ЮНЕСКО утверждает, что за последние 500 лет во время извержений вулканов погибли 200 тыс. человек. Положительные явления в экосистемах, связанные с извержениями (например, некоторое повышение плодородия почв, рост биомассы планктона в водоемах благодаря влиянию вулканических пеплов как своеобразных удобрений), как-то теряются на фоне этих трагедий.

В СССР к вулканическим регионам, где влияние вулканов велико и невозможно не учитывать этого в хозяйственной деятельности, относятся Камчатка и Курильские острова.

Вопросы взаимодействия между вулканическими процессами и изверженными породами, с одной стороны, и живыми организмами — с другой, характер реакции живых существ и их сообществ на извержения вулканов, экологические последствия извержений, смены биологических сообществ на территориях, подвергшихся воздействию вулканогенных факторов, имеют важное научное и практическое значение. К сожалению, этим вопросам до сих пор уделяется недостаточное внимание. Подчас их попросту недооценивают. Исследования носят фрагментарный характер.

Изучение экологических проблем, возникающих вследствие вулканической активности, — важнейшее направление в биовулканологии. Основные задачи: изучение вулканизма как экологического фактора на нашей

планете, его роли в образовании внешних оболочек Земли, в круговороте вещества и энергии, в эволюции и динамике природных сообществ. Цель — разработка методов прогноза экологических последствий извержений и оценка адаптаций живых организмов к вулканогенным факторам, включая адаптации человека. Методы изучения — комплексные, присущие биологическим наукам, прежде всего экологии и биогеоценологии и наукам о Земле: геологии, геохимии и др. Некоторые из названных вопросов так или иначе сейчас затрагиваются в работах вулканологов, биологов, медиков, другие совершенно не исследованы. О них — разговор в этой книге.



Микроорганизмы — преобразователи вулканических продуктов

Стерильность ювенильных вулканических отложений. Во время извержений вулканов Тятя (Кунашир) в 1973 г. и Толбачик (Камчатка) в 1975—1976 гг. группой советских вулканологов под руководством Мархинина было отобрано несколько сот проб ювенильных вулканических пеплов, шлаков и бомб на микробиологические анализы. Осуществить такие отборы, выполнив условия корректности эксперимента, не легко. Представьте себе, что пробы пепла и шлака брали непосредственно у подножия извергавшихся конусов во время интенсивных пеплопадов, а мелкие бомбочки — с поверхности еще теплого ювенильного шлака. Образцы крупных бомб отбирались в зонах вулканических бомбежек от медленно остывающих в воронках, выбитых в шлаке, раскаленных, желто-красных при дневном свете обрывков лавы. В целях безопасности одному из сотрудников приходилось наблюдать «за воздухом», в то время как остальные отбивали раскаленные кусочки и переносили их в простерилизованные банки.

В лабораторных условиях особенно тщательно исследо-

довали пеплы, возможность загрязнения которых микроорганизмами выше, чем у других проб. Тем не менее Т. И. Кузякиной, сотрудником Института вулканологии Дальневосточного научного центра Академии наук СССР (в дальнейшем тексте — ДВНЦ АН СССР), проводившей исследования пеплов, микроорганизмы не были обнаружены. Свежевыпавшие пеплы оказались стерильными. Впоследствии этот вывод был подтвержден при исследовании пеплов вулканов Алаид (Курильские острова) и Безымянный (Камчатка).

Существовало мнение о том, что свежие вулканические пеплы неблагоприятны для жизнедеятельности микроорганизмов из-за наличия токсических веществ, и только после выноса этих веществ атмосферными водами микроорганизмы поселяются на продуктах извержения вулканов. Для определенных групп микроорганизмов это действительно так. Совсем недавно американские ученые установили токсичность пеплов вулкана Сент-Хеленс для синезеленых водорослей. Однако при посеве бактерий-тестов на среды, изготовленные из свежевыпавших пеплов вулканов Камчатки и Курильских островов, не наблюдалось задержки их роста и развития, т. е. они оказались стерильными и не токсичными для микроорганизмов.

Колонизация вулканических пеплов микроорганизмами. Фаза стерильности вулканических пеплов кратковременна. Пепел представляет собой субстрат, значительно более благоприятный для жизни микроорганизмов, чем скальные вулканические породы. Его освоение микрофлорой идет прежде всего с поверхности в результате осаждения из воздуха с атмосферными осадками и поверхностными водами. Но также и снизу, с погребенной почвы. Это на первый взгляд кажется неожиданным, но анализы показали, что автохтонная микрофлора почвы сохраняется и под вулканическими отложениями.

Тен Хак Мун, О. А. Рогова и Т. И. Кузякина специально изучали процессы микробной колонизации пеплов вулкана Тятя и опубликовали ряд интереснейших работ. В частности, было установлено, что после первого же дождя в свежевыпавших пеплах обнаруживались единичные бактерии. Через два года количество микроорганизмов исчислялось несколькими десятками тысяч на 1 г, а на следующий год — сотнями тысяч. В среднем за 1 мин на 1 м² в зоне пеплопада вулкана Тятя в ясную

погоду осаждалось около 30 микробных клеток, а в пасмурную по 178—210 клеток. Не все они были способны к жизнедеятельности. В условиях дефицита питательных веществ, недостатка влаги, высокой концентрации ионов на свежевывавших пеплах выживает довольно ограниченная группа бактерий, которые характеризуются олиготрофным питанием, галотолерантностью и кислотоустойчивостью.

На первых этапах колонизации наиболее часто в пепле встречаются так называемые коринеформные, микобактериальные организмы и хромогенные бактерии. Основную роль в их питании играют вещества, поступающие извне. Но они способны ассимилировать и органические соединения, содержащиеся непосредственно в пеплах. Межорганизменные взаимоотношения из-за разобщенности микробных популяций играют в это время подчиненную роль. Таким образом, из всех непрерывно попадающих из воздуха разнообразных микробных клеток пепловые отложения, по сути, селекционируют ограниченную группу бактерий, имеющих широкий диапазон приспособляемости к своеобразным условиям местообитания.

Восьми—десятилетние наблюдения за последовательной сменой микробиоценозов в пеплах и шлаках показали, что микробные ассоциации усложняются. На смену микобактериям, флавиобактериям, коринеформам приходят актиномицеты, другие грибы, спорообразующие бактерии. Развитие ценоза идет по почвенному типу.

В качестве первопоселенцев на вулканическом субстрате известны и водоросли. Специалисты, изучавшие эту группу микроорганизмов на отложениях вулканов Суртсэй, Сент-Хеленс, Тяти, выяснили, что в первую очередь пеплы и шлаки заселяют зеленые и желтозеленые водоросли. Однако очередность и характер колонизации водорослями вулканических отложений не одинаковы в разных климатических зонах. Есть сведения, что в тропической области первыми поселяются на вулканических отложениях синезеленые водоросли (цианобактерии), тогда как в умеренных широтах они появляются позднее, после мхов.

Преобразование вулканического пепла под действием микроорганизмов. Именно микроорганизмы преобразуют вулканический пепел в примитивные почвы. Как это происходит? Процессы почвообразования необычай-

но сложны и многоступенчаты. Микроорганизмы, размножаясь в бедном органическими веществами грунте, обогащают его и способствуют накоплению гумусовых веществ. Причем непрерывный поток микроорганизмов и других органических веществ из воздуха уже сам по себе может служить источником органического питания для колонизирующих пеплы бактерий. Затем при постепенном накоплении органического вещества и образовании продуктов жизнедеятельности укореняющегося здесь бактериального населения рано или поздно должна наступить стадия экспоненциального размножения многих микробных колонистов.

Водоросли, заселяющие пеплы и шлаки, становятся также источником органического вещества. В связи с развитием водорослей развивается микрофлора и микрофауна, особенно амебы. Складываются примитивные экосистемы. Теперь здесь поселяются мхи, лишайники и высшие растения. Отмершие растения, в свою очередь, служат источником энергии жизнедеятельности новых поколений микроорганизмов.

Процессы микробного дыхания и брожения приводят к образованию многочисленных сложных органических соединений, участвующих в биохимическом выветривании пород и минералов. Благодаря главным образом бактериям формируется кора выветривания. Известно, что бактерии, а также диатомовые, зеленые водоросли и грибы способны разрушать алюмосиликаты. Биохимическое выветривание горных пород и минералов при участии микроорганизмов можно рассматривать как начальный этап почвообразования. Исследование вулканических пеплов и шлаков с этой точки зрения представляет особый интерес. Установлено, что при помощи метаболитов и слизи микроорганизмов вулканическое стекло пеплов частично превращается в аморфный минерал аллофан.

Разрушая минералы, микроорганизмы превращают зольные элементы в форму, усвояемую высшими растениями. И. А. Соколов, много лет изучавший вулканические почвы, пишет: «Субстратом для почвообразования служат рыхлые вулканокластические отложения, роль которых как почвообразующих весьма специфична. Мощность почвенного профиля под влиянием пеплопадов непрерывно нарастает, причем самыми молодыми,

наименее измененными почвенными процессами оказываются не нижние горизонты, а верхние»².

Итак, микроорганизмы, разлагая силикатное вещество и обогащая грунты гумусом, способствуют образованию на Земле первых почв.

Водоросли в горячих ключах. Вследствие гидротермальной деятельности в вулканических районах непосредственно у вулканов или на удалении от них образуются термальные источники. Те, кому приходилось бывать на термальных ключах Камчатки и Курильских островов, обязательно обращают внимание на необычный цвет берегов у кромки горячей воды, а также грунта и камней в воде.

Насыщенный зеленый цвет создают здесь термофильные синезеленые водоросли, способные жить при температуре до 65°C. Их колонии местами толстым и плотным слоем покрывают склоны, по которым стекает горячая вода. В иных местах они образуют своеобразные пышные подушки, а в ключах с высокой скоростью течения воды они представляют собой нитчатые образования, вытянутые по течению, подвижные, подчас причудливо извивающиеся. Термофильные водоросли создают неповторимый цветной колорит термопроявлений знаменитой Долины гейзеров и кальдеры вулкана Узон.

Термофильные микроорганизмы. Невероятно, но факт, что некоторые микроорганизмы живут в источниках практически при температуре кипения воды. Своеобразная, специфическая группа экстремально термофильных микроорганизмов вообще не может расти при температуре ниже 40—45°C. Жизнедеятельность в таких условиях обеспечивается особым строением их белков, жиров и ферментов, а также структурных клеточных элементов — оболочки, мембран, рибосом и возможностью эффективной репарации тепловых повреждений ДНК. Японский микробиолог И. Эмото, пожалуй, первым в 1933 г. обнаружил и выделил из горячих ручьев с кислой реакцией воды несколько видов термофильных тионовых бактерий, развивавшихся при температуре до 80°C. Советский ученый С. И. Кузнецов изучал микроорганизмы горячих ключей Камчатки и выяснил их способность к росту при температурах до 95°C.

² Соколов И. А. Вулканизм и почвообразование на примере Камчатки, — М.: Наука, 1973. — С. 25.

Открытие термофильных микроорганизмов в термальных источниках вулканогенного происхождения, поразив воображение, вызывает вопросы. А каковы вообще предельные температурные (и иные) условия жизни на нашей планете? Нельзя ли на этих примерах предсказать возможность жизни на других планетах? Т. Брок с соавторами в США установили, что некоторые микроорганизмы размножаются в источниках при еще более высоких температурах, но экстремальное воздействие этих температур, вероятно, усиливается кислой реакцией. Потому с повышением кислотности растворов верхний предел температур, при которых возможна жизнедеятельность микроорганизмов, понижается. Поиск продолжался.

В 1983 г. в американском журнале «Nature» была опубликована статья И. Бароса и И. Деминга о росте бактерий при температуре более 250°C и очень высоких давлениях. Авторы сообщили, что такие бактерии обнаружены в подводных гидротермах Восточно-Тихоокеанского поднятия в так называемых черных курильщиках. Публикация вызвала сенсацию. Правда, через год в том же журнале, но другим ученым, Р. Уайтом, эти данные основательно подверглись сомнению и сейчас считаются ошибочными. Однако оставим спор о достоверности выводов ученых-микробиологам. А вот об открытии специфических биологических сообществ в подводных гидротермах и о роли микроорганизмов в их существовании стоит рассказать подробнее.

Находка богатой и необычайно разнообразной фауны — своеобразного оазиса в глубоководной пустыне на гидротермальных излияниях в рифтовой зоне Восточно-Тихоокеанского поднятия на глубинах от 2485 до 2595 м справедливо считается одним из замечательнейших открытий последних лет в биологии. Это открытие оделано в 1977—1979 гг. с помощью обитаемых подводных аппаратов «Алвин» (США) и «Сиана» (Франция). Совсем недавно аналогичное сообщество открыто советскими учеными у северо-восточных берегов Америки. Суть в том, что вокруг выходов на поверхность дна океана горячих вод, содержащих сероводород и ионы тяжелых металлов, обитает множество разных животных: крупные двустворчатые моллюски, так называемые вестиментиферы (длинные червеобразные трубчатые животные, относящиеся к погонофорам), брюхоногие моллюски,

крабы, десятиногие раки-галатеи и другие животные. Они обитают при температуре 20—30°C на границе кислородной и бескислородной зон.

Интересно, что сообщество существует за счет симбиотических бактерий, окисляющих сероводород (а возможно, и метан), и не зависит от первичной продукции, которая образуется только за счет энергии Солнца в освещенных им слоях. Как это происходит? Нагляднее всего это продемонстрировать на примере своеобразных живых существ, получивших название рифтий, относящихся к уже упоминавшимся вестиментиферам.

Рифтии впервые описаны именно здесь, в районе подводных гидротерм. Биохимики П. Уильямс, Х. Фельбек и Р. Хесслер установили совершенно своеобразный способ питания рифтий. Пищеварительной системы у них нет. Бактерии-симбионты, живущие в трофосоме рифтий, окисляют сероводород, выделяющийся из гидротермальных источников. Это дает им энергию, которую они затрачивают на образование органических веществ из углекислого газа, который также выделяется из недр. Но откуда им взять кислород? Ведь в водах, изливающихся из гидротерм, его нет, а бактерии — аэробы. Рифтия поставляет им кислород с собственной кровью. Сама же поедает бактерий или продукты их метаболизма. Таким образом, рифтия — хемоавтотрофное животное, не нуждающееся ни в притоке органики извне, ни в свете для фотосинтеза. И все это благодаря симбиотическим бактериям. По образному выражению К. Н. Несиса, «оазис в глубоководных пустынях — это мир, где не Солнце, а сера — основа жизни».

Считалось, что глубоководный оазис жизни обязан своим существованием гидротермальной деятельности в рифтовой зоне. Однако в 1984 г. подобное биологическое сообщество было открыто в совершенно иной геологической обстановке. Группа американских биологов и геологов под руководством Ч. Полла на аппарате «Алвин» обнаружила богатое сообщество животных на глубине 3266 м у подножия Флоридского эскарпа — почти отвесной известняковой стены (высотой 2000 м), отделяющей шельф Западной Флориды от глубоководной равнины Мексиканского залива. Здесь оказались мощные пласты бактерий, скопления вестиментифер, двустворчатых и брюхоногих моллюсков и многих других животных. Это сообщество обитает у самого обрыва в узкой, 20—

30 м; полосе — в своеобразной нише. Виды и некоторые роды животных здесь иные, чем в оазисах Восточно-Тихоокеанского поднятия, но общий облик сообщества тот же. Только вот район этот тектонически стабильный, нет здесь гидротермальной деятельности, температура воды чуть выше 4°C, т. е. типична для глубоководных слоев океана. Биологическое сообщество в районе развивается благодаря проникновению с шельфа концентрированных растворов, содержащих сероводород, аммоний и ионы металлов. Очевидно, и в этом случае животные живут за счет бактерий, окисляющих сероводород.

Термофильные микроорганизмы как геохимический фактор. В последнее десятилетие деятельность микроорганизмов в гидротермах вызывает особый интерес исследователей. Он обусловлен не столько интригующим примером экстремальной температурной устойчивости микроорганизмов, сколько их мощной геохимической деятельностью, тесной связью гидротермального и микробиологического процессов. Микроорганизмы производят большую геохимическую работу, перенося и перекладывая в районах активного вулканизма серу, железо, марганец и многие другие элементы. Как это происходит на примере термальных полей кальдеры вулкана Узон, что на Восточной Камчатке, наглядно продемонстрировали Г. А. Заварзин и Г. А. Карпов.

На термальных полях Узона наблюдаются фактически все известные типы газогидротерм. Не так давно было показано, что здесь формируется мышьяково-сурьмяно-сульфидное оруденение. Поток глубинных горячих газов выносит на поверхность соединения серы. Под воздействием аэробных микроорганизмов и тионовых бактерий, численность которых достигает 10^6 клеток на 1 г гравелитов, сера окисляется до серной кислоты. В тех местах, где сера переносится преимущественно в виде сероводорода и контактирует с поверхностными кислыми водами, происходит абиогенное образование ее коллоидной формы, которая затем также подвергается бактериальному окислению. По расчетам, в августе 1981 г. термальная площадь Узона в несколько гектаров поставляла в сутки до 4 т серной кислоты. При благоприятной гидрогеологической обстановке по стоку вод можно ожидать образования 1 т/га серной кислоты в сутки с максимумами до 1,5—2,5 т/га в сутки.

Сернокислое выщелачивание, обусловленное деятель-

ностью бактерий, приводит к выносу практически всех элементов (кроме кремнезема), которые затем отлагаются при контакте с поверхностными водами. С этим связаны процессы образования на Узоне минералов, содержащих мышьяк, сурьму и железо. Мышьяк, например, у поверхности вступает в реакцию с сероводородом и образует сульфиды, которые, в свою очередь, являются субстратом для развития тионовых бактерий. В результате деятельности бактерий образуется серная кислота и скородит — нерастворимый окисел мышьяка. Скородит вновь может восстанавливаться в сульфиды глубинным сероводородом, и таким образом, благодаря циклу минеральных превращений идет обогащение мышьяком приповерхностного слоя пород.

Термальные поля Узона — это поистине бесценная природная лаборатория по изучению процессов минералорудообразования. Какова деятельность термофильных бактерий в этих процессах? Установлено, что даже на одном источнике здесь развиваются несколько видов термофильных бактерий разных, так сказать, «специальностей». Те, что в истоке, при наличии в газах водорода восстанавливают сульфатную серу до сульфидной, другие, развиваясь ниже по течению, окисляют сульфидную серу до серы элементарной, которая и оседает на колониях бактерий, придавая им необычный белый цвет.

На мощных термальных полях вулканогенного происхождения часто можно видеть обнажения разноцветных глин. Ярко-рыжие, серые, голубые, красные, белые, они иногда занимают огромные площади. Эти глины возникли в результате переработки горных пород кислыми растворами. Однозначно установлено, что серную кислоту на термальных площадках производят тионовые бактерии.

В последнее время активно исследуют процессы взаимодействия микроорганизмов и газовых составляющих гидротерм, которые, трансформируясь, поставляют энергию для этих организмов. Особенно интересно образование в гидротермах метана. Анаэробные метанообразующие и сероредуцирующие бактерии, выделенные на Узоне (Камчатка), в силу особенностей ультраструктуры принадлежат к группе древнейших организмов — архебактериям. Микробиологи Г. А. Заварзин, Н. Е. Мишустин и другие считают, что микроорганизмы горячих источников — реликт примордиальных организмов.

По мнению Заварзина, бактерии, первые обитатели Земли, сформировали ее атмосферу из продуктов вулканических газовых эксгаляций. «Последующая эволюция накладывалась на эту систему, сформированную бактериями, видоизменяя масштабы, но не нарушая установившихся связей и круговоротов элементов»³. Таким образом, изучение взаимодействия бактерий с газами в гидротермах позволяет построить современную модель для исследования процессов формирования атмосферы, хотя масштабы этих процессов сейчас, конечно, несопоставимы с условиями геологического прошлого. В той же кальдере Узона цианобактериальные сообщества активно поглощают сероводород, водород, углекислый газ, продуцируя кислород. В средах, имитирующих состав первоначально выделяющихся газов, уже через пять суток происходило поглощение углекислоты и водорода и обогащение системы кислородом.

Итак, в результате жизнедеятельности микроорганизмов преобразуются вулканические продукты во всех средах — на суше, в воде и в воздухе. По сути, при их участии формируется биогенно-вулканогенный тип круговорота вещества и энергии, в котором затем участвуют растения и животные. Эту роль микроорганизмов в становлении глобальной экосистемы трудно переоценить. В изучении экологического звена «микроорганизмы — продукты извержения вулканов» — одного из важнейших на нашей планете — сделаны лишь первые шаги.



Непосредственное и косвенное влияние вулканов на живые организмы

Известный ботаник-лесовод Ю. И. Манько, оценивая влияние современной вулканической деятельности на ра-

³ См.: Бактерии гидротерм и состав атмосферы. — Тезисы докладов VI Всесоюзного вулканологического совещания, — Вып. 3. — Петропавловск-Камчатский, 1985. — С. 221—222.

стительность, предложил разделить его на непосредственное и косвенное. Анализ ситуации с животными свидетельствует о том, что понятие о непосредственном (прямом) и косвенном (опосредованном) воздействии вулканогенных факторов на живые организмы носит общий характер.

Непосредственное влияние вулканической деятельности на живые организмы обусловлено прямым воздействием физических и химических факторов, сопровождающих извержения: воздушных волн, отложений взрывов, пирокластических и грязевых потоков, раскаленных лав, пеллопадов, токсических газов, высокой температуры и т. д. Как правило, под их влиянием жизнь угнетается, элиминируется. Продолжительность воздействия большинства из них ограничивается временем извержения вулкана, но влияние ядовитых газов и высокой температуры часто проявляется и в последующий период. Масштабы и характер влияния в каждом конкретном случае труднопредсказуемы, зависят от силы и сроков (времени года, продолжительности) извержения вулкана, особенностей рельефа.

Косвенное влияние вулканической деятельности на живые организмы связано с изменением среды их обитания, включая взаимоотношения видов в биоценозе. Оно может быть как отрицательным (угнетающим), так и положительным (стимулирующим). Характер этих изменений, их форма, степень и масштабы очень разнообразны. К тому же нужно учитывать, что прямое влияние вулканогенных факторов на одни организмы можно рассматривать как косвенное — для других. Таковы, например, могут быть ситуации в отношении растений и животных вообще, беспозвоночных и позвоночных животных в частности.

Каково влияние на живую природу важнейших вулканогенных факторов?

Воздействие воздушных волн: ударный и термический эффект. Сильные взрывы при извержениях вулканов обычно сопровождаются мощной воздушной волной. Ее воздействия на окружающую растительность и животных во многом зависят от угла наклона основной струи взрывного столба. Воздействие воздушной волны при вертикальных и крутонаклонных взрывах ($90-60^\circ$ к горизонту) чаще всего за пределами самого вулкана уже не существенно.

Совсем другое дело — косые взрывы направленного действия под углом менее 60° к горизонту. В этом случае действие газовой струи может проявляться на расстоянии до 30 км, как это было, например, при извержении Безымянного (Камчатка) в 1956 г. Сила подобных взрывов чудовищна. По оценкам советских вулканологов, энергия воздушной волны направленного взрыва при извержении Шивелуча 12 ноября 1964 г. составила $1,8 \times 10^{21}$ эрг, а при извержении Безымянного 30 марта 1956 г. — 3×10^{22} эрг. Давление при этих взрывах достигало соответственно 800—1000 и 1500—3000 атм. Эти значения эквивалентны взрывам крупных атомных и водородных бомб.

В результате собственно направленного взрыва извергается мелко раздробленный материал: песок и пепел, температура которых на выходе достигает 400—500°C. Эти обстоятельства и определяют два важнейших фактора воздействия взрывной волны: ударный и термический, причем оба воздействуют одновременно.

Взрывы кратковременны. Извержение Шивелуча в 1964 г. длилось, например, немногим более одного часа. Но их воздействие на живую природу носит катастрофический характер. Горшков Г. С. и Г. Е. Богоявленская, изучавшие извержение Безымянного, сообщили, что раскаленный пепел, выброшенный косо направленным взрывом ($30\text{—}40^\circ$ к горизонту), обжег кору деревьев и кустарников на расстоянии до 29 км, а некоторые стволы (видимо, сухостоя) сжигал почти целиком. На расстоянии до 25 км были сломаны и повалены деревья диаметром до 30 см. Их стволы и ветви кустарников со стороны, обращенной к вулкану, были гладко ободраны.

При извержении вулкана Катмай на Аляске (1912 г.) взрывная волна опалила и частично повалила деревья и кустарники на расстоянии до 20 миль (свыше 36 км) и более, местами образовались непроходимые лесные завалы. Не только кора на деревьях со стороны вулкана была ободрана, но даже древесина часто глубоко поранена. В результате сравнительно слабого направленного взрыва на вулкане Лассен-Пик в Калифорнии (1915 г.) все деревья диаметром до 1,5 м были сломаны на расстоянии 6,5 км, кора на оставшихся пнях со стороны вулкана была ободрана, а в древесину на глубину 2 см внедрились песчинки. Сходными по эффекту были последствия направленного взрыва на вулкане

Хибок-Хибок (Филиппинские острова) в 1915 г., когда на расстоянии 6 км были повалены целые рощи кокосовых пальм.

Воздушная волна воздействует не только на растительность. При извержении вулкана Мон-Ламингтон в Новой Гвинее (1951 г.) на расстоянии 3 км от кратера была даже содрана почва. Легко представить, что при этом вместе с лесами погибало множество их обитателей, беспозвоночные и позвоночные животные. И хотя в литературе нет упоминаний о прямых наблюдениях, касающихся воздействия взрывных волн на животных, но в их катастрофическом характере сомневаться не приходится. Известны случаи, когда воздушные волны разрушали жилые строения человека. При извержении Безымянного даже в 65 км от вулкана люди чувствовали «давление на уши».

Высокая температура взрывных волн воздействует кратковременно, порой всего лишь мгновение. Но при извержении Мон-Ламингтона даже в 1 км от кратера в течение 1,5 мин температура достигала 200°C. Люди, попавшие в область воздействия высокой температуры, погибали главным образом от ожога легких (асфиксии). Известна страшная трагедия города Сен-Пьера (остров Мартиника), в котором 8 мая 1902 г. при извержении вулкана Мон-Пеле почти мгновенно погибло около 30 тыс. человек. Пожары — еще одно страшное следствие высоких температур, усугубляющее катастрофическое воздействие взрывных волн. В умеренных широтах масштабы влияния воздушных волн на живую природу летом значительно больше, чем зимой.

Воздействие отложений взрывов. При вертикальных и крутонаклонных взрывах крупный обломочный материал обычно выпадает на склоны вулканического конуса или рядом с ним. При очень сильных вертикальных взрывах полностью или частично разрушается вершина вулкана, и тогда резко возрастает количество обломочного материала и радиус его разброса (до 10 км).

Особенно велико воздействие на живую природу отложений косых взрывов направленного действия. Но и в этом случае материал взорванной постройки откладывается неравномерно. Так, при взрыве Безымянного в 1956 г. агломерат, представленный несортированным грубообломочным щебнем и глыбами, распространился только в осевой части взрыва. На остальной площади,

охваченной взрывом, отложился слой раскаленного песка и пепла мощностью от 60—70 см вблизи вулкана до 1 см в краевой части. В целом отложения покрыли около 60 км², а вся область, захваченная воздействием взрыва, имела форму овала площадью более 500 км² (местами до 32 км в длину и 25 км в ширину). Местность совершенно преобразилась: образовались обширные поля холмисто-котловинного рельефа, отличающегося множеством небольших островершинных холмиков. При катастрофическом извержении Тамбора в 1815 г. (островок Сумбава в Индонезии) каменные бомбы размером 13 см в поперечнике падали на расстоянии 40 км от кратера.

Отложения взрывов воздействуют на растительность и животных в пределах площади, охваченной взрывом. Объем отложений, угол наклона их выброса и сила взрывной волны в основном определяют масштабы воздействия, а время (сезон года) и особенности ландшафтов, окружающих вулкан, особенно рельеф, — характер воздействия.

Г. С. Горшков и Ю. М. Дубик описали отложения направленного косого взрыва (не более 30° к горизонту) Шивелуча в 1964 г. Объем отложений составил 1,5 км³. Большая часть материала была выброшена на расстояние до 10 км, образовав сплошной покров мощностью от нескольких метров до десятков метров на площади 98 км². Местами материал двигался уже после падения и был остановлен препятствиями в рельефе, а где их не было, он продвинулся максимально вперед. Благодаря этому граница отложений оказалась удивительно резкой, уже в 1 м от хаотичного нагромождения камней стоял нетронутый лес.

Из-за малого угла наклона взрывного столба даже незначительные препятствия в секторе падения взрывного материала (например, холмы высотой всего 10—20 м) предохраняли лес от уничтожения, создавая своеобразную тень. Узкие живые участки нетронутого взрывом леса были ориентированы радиально к кратеру. Здесь не было взрывных отложений, и только верхушки высоких лиственниц были срезаны косо падавшими обломками. Авторы пишут, что «прежде живописное, богатое растительным и животным миром подножие вулкана превратилось в каменистую пустыню, покрытую тысячами больших и малых холмов».

Лиственничные и березовые леса на площади 45 км² оказались погребены под отложениями толщиной 20 м. Верхняя граница леса, проходившая на высоте 700—900 м над уровнем моря, снизилась местами до 420 м (1972 г.). Вместе с лесом под отложениями взрыва, естественно, погибло множество его обитателей. При извержении Толбачика поблизости от вулкана находили сбитых камнями-бомбами чаек, куропаток, куликов, кукушек. Неоднократно наблюдали, как птицы не в состоянии были выбраться из зоны шлаковых «ливней» и погибали под ударами шлака.

Температура падающих на землю обломков иногда достигает 600°C, так что они могут вызвать еще и пожары.

Воздействие вулканических газов. Взрывами в атмосферу выбрасываются вулканические газы, значительную часть которых обычно составляют серосодержащие компоненты. Такие газы сами по себе способны оказывать негативное воздействие на живые организмы. Так было в прошлом столетии при извержении вулкана Масайя-Ниндири в Никарагуа, когда облако водяных паров, содержащих токсические газы, повредило кофейные плантации в полосе 8 км.

Известно, что газы вулкана Катмаи вызывали ожоги у людей. Тогда газовая туча дошла до Ванкувера, где выпал сернокислый дождь, повредивший растительность. При извержении вулкана Гекла в Исландии (1947—1948 гг.) углекислый газ, скопившийся во впадине у его подножия, вызвал гибель пасшихся там овец. В одной из своих книг Гарун Тазиев образно описывает впечатления в минуты, когда он попал в облако ядовитых газов при подводном извержении Капелиньюша (Азорские острова), отравился углекислым газом в вулканической воронке близ озера Киву в Африке (извержение Китуру), и пытался спасти человека, отравившегося в хлорных и сернистых облаках на одном из вулканов Италии. Большой трагедией стал выброс вулканических газов, содержащих синильную кислоту, со дна озера Ниос на северо-западе Камеруна. Это произошло в августе 1986 г. Прибывшие на место стихийного бедствия ученые увидели деревни без признаков жизни, множество мертвых животных, пожухлую траву; тысячи трупов домашних животных создавали опасность эпидемии.

Воздействие каменных лавин и палящих туч. По мере роста вулканических построек могут произойти обвалы их отдельных частей. Раскаленные массы обломков скатываются по склонам вулкана, сопровождаясь облаками пыли. Когда таким образом перемещаются огромные массы материала (тысячи кубометров), образуются лавины «палящих туч». Раскаленные обломки быстро заполняют понижения и долины у подножия вулкана, а горячий воздух, вулканические газы, летучие песок и пыль взмывают вверх, образуя темную тучу, которая распространяется не только по долинам, но и вне их. Температура таких лавин и туч достигает 450°C и более, скорость распространения — десятков километров в час. Они проходят по 15—30 км.

Бывают палящие тучи иного происхождения, например, связанные со взрывами направленного действия. Температура такой палящей тучи при извержении Шивелуча в 1944 г. достигла 900°C . Скорости их движения очень велики: при извержении того же вулкана Шивелуч в 1947 г. палящая туча распространялась со скоростью 90 км/ч, а при взрыве Мон-Пеле в 1902 г. — со скоростью 160 км/ч. Быстрое распространение и их необычайно высокая температура являются причинами катастроф. Палящие тучи вызывают пожары по всему пути их следования. Кроме того, животные и люди погибают от ожога легких, вдыхая горячий воздух. При извержении Суффриера на острове Сент-Винсент в апреле 1902 г. палящая туча за несколько минут уничтожила северную часть острова. Палящие тучи, возникшие при извержении вулканов Мерали на Яве (1930 г.), Мон-Ламингтон (1951 г.), Хибок-Хибок (1951 г.) и других, двигались со скоростью 60—100 км/ч, а их температура достигала 200°C . Фотоснимки, опубликованные Э. Буллардом и сделанные им в Нигатуру (Новая Гвинея) после извержения Ламингтона, с очевидностью иллюстрируют катастрофу: оголенные, полусожженные деревья, трупы животных...

Воздействие пирокластических потоков. Раскаленные потоки разнообразного рыхлого материала (агломератовые потоки) в момент извержения очень подвижны и легко скатываются по склонам, останавливаясь только на слабонаклонных участках местности (не более $2-3^{\circ}$). Часто они распространяются далеко за пределы вулкана: на Шивелуче (1964 г.) и Безымянном

(1956 г.) — на 15—18 км. В первом случае площадь потока составила 50 км², а во втором — по меньшей мере 30 км².

По сути, пирокластический поток представляет собой хаотичную смесь песка, пепла и обломков лавы всевозможного размера (до 1,5 м в поперечнике). Сразу после извержения они горячие, сухие и рыхлые. Ю. М. Дубик замерил температуру пирокластического потока на глубине 30 см через 10 дней после извержения Шивелуча, она оказалась 250—300°C. Через несколько месяцев поверхность этого потока стала твердой, плотной. Средняя мощность таких потоков на Безымянном в 1956 г. составляла от 20—25 до 40—45 м. Особенно большое количество материала откладывается в понижениях. На поверхности пирокластических потоков широко известны и вторичные фумаролы (выделения газов), например, знаменитая Долина тысячи дымов на Катмаи.

В зоне распространения мощных пирокластических потоков растительность оказывается погребенной, деревья обугливаются либо сгорают. Существенное влияние пирокластические потоки могут оказывать на жизнь в водоемах. Вот как описывают Горшков и Богоявленская ситуацию, сложившуюся весной 1956 г. в районе Безымянного: «Вода р. Сухой Хапицы переполнялась рыхлым материалом, образуя густую, но очень подвижную грязь, в которой, подобно деревьям, легко плыли крупные камни. Особенно удивительно было видеть, как в заводях, после водопадов, камни медленно плавали и кружились в струях противотечений. Масса твердого материала составляла 90—95%, и в ведре такой грязи к утру отстаивалось только несколько сантиметров воды». Огромное количество горячего материала увеличило температуру воды в реке до 35—40°C. Такое «загрязнение» и увеличение температуры воды, безусловно, самым отрицательным образом отразились на биологических сообществах.

Воздействие лавовых потоков. Излияние раскаленных лав происходит на многих вулканах. Скорость передвижения лавовых потоков зависит от их мощности, уклона, а также от состава самой лавы. Кислые лавы более вязкие, а основные — жидкие. Наибольшие скорости известны для лав вулканов Нирагонго в Африке (60 км/ч) и Суртсэй в Исландии (65 км/ч). Обычно же скорости намного ниже. У вязких лав она измеряется

буквально сантиметрами в час. Жидкие лавы могут за короткое время залить значительные территории. Известны лавовые потоки длиной до 40 км (Толбачик); В результате последнего извержения Толбачика в 1975—1976 гг. лавы образовали поля площадью 44,9 км² и мощностью 80 м. В 1783 г. в Исландии при извержении Лаки лава покрыла 560 км² поверхности земли. Лава движется многочисленными рукавами, обтекая возвышенности. Скорость ее продвижения, высокая в начальный период, постепенно уменьшается. Температура лавы у выхода достигает 1100—1200°C.

Все живое, что оказывается на пути лавового потока, погибает. С приближением его фронта растительность засыхает, листья съеживаются, стволы деревьев и кустарников обугливаются, трескаются, часто возникают пожары. Сгорает практически вся растительность. Кроме того, отдельные рукава лавовых потоков, огибающих возвышенности, изолируют участки растительности, дробят ее границы на верхнем пределе произрастания в горах.

Благодаря небольшой скорости распространения лавы большинство наземных животных имеют возможность покинуть опасные места заблаговременно. Так оно в реальности и происходит с млекопитающими, птицами. Но если излияние лавы происходит в период размножения животных, то гибель молодых особей (выводков, гнезд) весьма велика. Известны случаи, когда лава, достигая небольших озер и ручьев, за короткое время практически осушала их, уничтожая целые сообщества, а на крупных озерах была причиной гибели рыбы и других животных от высокой температуры. При извержении вулканов на островах лава, достигающая морского побережья, оказывает негативное влияние на обитателей прибрежных вод. Извержение по трещине Лаки в Исландии в 1783 г. отличалось тем, что лава, достигнув озер и подземных вод, взорвалась, образовав огромное количество пепла. Выделявшиеся при этом серосодержащие газы образовали смог, который на несколько дней окутал страну. Были уничтожены пастбища, погибло много скота, были жертвы среди населения.

Есть наблюдения, свидетельствующие о том, что лавовые потоки своим светом и теплом способны привлекать к себе беспозвоночных. Быть может, это происходит в основном ночью. Но так или иначе вблизи лавовых

потоков некоторых вулканов находили огромные количества погибших насекомых (например, тлей, ос), а также морских амфипод (на берегу моря). Очевидцы рассказывают, что при извержении Толбачика на свет огненного столба ночью летели и птицы.

Воздействие пеплопадов. Пеплопады — одно из самых распространенных явлений, сопровождающих извержения. Их влияние на живые организмы зависит от количества выпадающего пепла, его гранулометрического (зернистости) и химического состава, а это, в свою очередь, определяется типом извержения вулкана.

В результате сильных извержений пеплы выпадают на территориях площадью от сотен тысяч до нескольких миллионов квадратных километров. Самые крупные обломки (пользуясь сравнением Гаруна Тазиева — «превышающие размером яблоко») именуются вулканическими бомбами, несколько меньшие по размеру («равные по величине рисовому зерну, бобу или ореху») — лапиллями, еще более мелкие — вулканическим песком, а уже совсем мельчайшие (вплоть до микрон) — пеплом. Все это вместе сейчас нередко объединяют названием «тефра».

При извержении Шивелуча в 1964 г. вблизи конуса на площади 90 км² выпало от 20 до 50 см довольно крупных обломков. Лес здесь полностью погиб: все мелкие ветви и кора ободраны равномерно со всех сторон, так как материал из тучи падал вертикально. В 30—40 км от кратера выпадал крупный вулканический песок, а в 80 км — уже настоящий пепел. При извержении Толбачика пеплы распространялись на расстояние свыше 1000 км, а на площади 400 км² растительность была уничтожена. Конфигурация и размеры зоны пеплопада зависят еще от направления и силы ветра. Пеплопад основного взрыва на Безымянном в 1956 г. прошел полосой шириной 50 км на протяжении более 400 км. При извержении Тамбора в 1815 г. даже в 150 км от кратера на острове Ламбок выпало 0,5 м пепла. Острова Сумбава и Ламбок в Индонезии были полностью опустошены.

А. Н. Сидельников выделил три аспекта прямого влияния в период извержения вулкана аэральной пирокластики на растительность: уничтожение растительности, ее повреждение и запыление ассимиляционного аппарата. Первое происходит как при полном, так и при

частичном погребении пеплами растительности. Гибель растений вызывают большое содержание в пепле токсических соединений, высокая температура пепла, поднятие уровня мерзлоты в почве выше корнеобитаемого слоя. Повреждение растений — это некроз листьев токсическими веществами, повреждение кутикулы абразией пепловых частиц, облом ветвей, изгиб ствола, а иногда его вывал из-за накапливания пепла в кронах деревьев.

Пеплы вулкана Ираз в Коста-Рике были столь кислыми, что буквально сжигали растения. Повреждение растительности зависит не только от особенностей самого пепла (скажем, вулканическое ли это стекло — обсидиан, частицы которого отличаются острыми краями, или базальтовый шлак), но и от характера его отложения, от метеорологических и сезонных условий, а также от типа растительности. Возвышенности, даже самые небольшие, в несколько десятков сантиметров, экранируют растительность, образуя своеобразные убежища, в которых и механическое воздействие, и мощность отложений пепла отличаются от тех, что имеются буквально в нескольких метрах. Отсюда — мозаичность и большое разнообразие в характере повреждения растительности.

Сухой пепел сам по себе легок, когда же он насыщен водой, его масса увеличивается многократно. А. Н. Сидельников и В. А. Шафрановский показали, что при извержении Толбачика в 1975—1976 гг. от навалов мокрого пепла в первую очередь страдали подрост, подлесок и деревья второго яруса, диаметр стволов которых не превышает 12—15 см. У взрослых деревьев первого яруса ломаются и изгибаются лишь вершины и ветви. Лиственные виды деревьев и кустарников с их более развитой кроной и большей листовой поверхностью повреждаются значительно сильнее, чем хвойные. Кроме того, больше страдают деревца, растущие в густых куртинах. Таким образом, здесь очевиден аспект некоторой избирательности воздействия навалов мокрого пепла на древесно-кустарниковую растительность.

Заметные механические повреждения у деревьев и кустарников наблюдались там, где мощность пепла колебалась от 4—5 до 15—20 см. При большей мощности пеплового слоя начинается массовое отмирание деревьев и кустарников. Горно-тундровые кустарнички, береза Миддендорфа, береза каменная, кедровый стланик гибнут, если слой шлака и пепла достигнет 20—30 см, оль-

ха камчатская — более 40 см, лиственница курильская — 50 см, тополь Комарова — 80 см.

Впрочем, оценивая влияние мощности пеплового слоя на деревья и кустарники, нужно учитывать еще и размеры пепловых частиц. На том же Толбачике П. А. Хоментовский установил, что граница зоны летального (смертельного) воздействия пепла на кедровый стланик примерно совпадает с границей выпадения частиц, превышающих в размере 2 мм. Растения, удаленные от вулкана еще более, зачастую выживали, хотя мощность пеплового слоя под ними превышала 40 см. По устойчивости к воздействию пеплов (от наибольшей — к меньшей) Хоментовский расположил древесные породы следующим образом: тополь Комарова — ольховый стланик — лиственница камчатская — кедровый стланик — береза каменная. Лиственные породы и лиственница, способные возобновлять утраченную листву, в целом оказываются более стойкими (за исключением каменной березы), чем кедровый стланик. Интересно, что регенерация хвои лиственницы на следующий год после извержения напоминает таковую после объедания насекомыми. Японские ботаники заметили, что от навала пепла в основном страдают древостои лиственницы японской большого возраста, тогда как молодые древостои сохраняются.

Степень запыленности листьев растений зависит от частоты и продолжительности поступления пепла, от фазы развития растений. Даже присыпка слоем 0,01 мм снижает интенсивность фотосинтеза на 30%. Дождь и ветер способствуют удалению пепла с поверхности растений.

Умеренные пеплопады, как показали анализы, не уничтожают местную микрофлору. Что касается насекомых, то вулканический пепел в результате прямого контакта может быть губительным для них. Вместе с тем муравьи не только выжили в полностью засыпанных пеплом муравейниках на удалении всего 5—6 км от конуса извержения Толбачика, но и сформировали дочерние поселения.

Издавна известно, что вулканический пепел способен вызывать у птиц конъюнктивит. Об этом сообщали американские ученые еще в 1913 г., наблюдая на Кодьяке последствия извержения Катмаи. То же самое было отмечено в 1975 г. в Кроноцком заповеднике на Камчатке:

во время извержения Толбачика в одном из поздних гнезд пятнистого конька, расположенном в 180 км. от вулкана, у птенцов оказались воспаленными глаза и распухшими веки. В те дни пеплом были покрыты все травы и листья на деревьях.

Повреждение глаз американские орнитологи наблюдали и в 1980 г. у калифорнийских чаек, гнездившихся на озерах в 330 км (!) от извергавшегося Сент-Хеленса: больше чем у половины наблюдавшихся птиц этого вида распухли веки, перья вокруг глаз склеились пеплом, птицы часто моргали. Признаки конъюнктивита появились на следующий день после пеплопада, а через сутки их не стало. Во время извержения Сент-Хеленса Джеймсу Гайварду с коллегами удалось провести очень интересные наблюдения за влиянием пеплопада на калифорнийских и кольцеклювых чаек. Было установлено, что во время пеплопада чайки покинули гнезда, что сказалось на успешности их размножения. Такое поведение чаек удивляет, так как птицы обычно плотно сидят на кладках и в сильный дождь, и в снег, и в град. Быть может, причиной тому — неожиданно наступившая темнота?

Чайки не остались равнодушными к кладкам, засыпанным трехсантиметровым слоем пепла. Они активно раскапывали свои яйца и к утру раскопали от 27 до 45% гнезд. Через три дня эти показатели возросли до 39 и 69%. Обычно чайки раскапывали пепел лапками, реже — клювом. В эксперименте им хватило на это 30 мин. Конечно, покров из пепла повлиял на успешность размножения. Из яиц, оставшихся под пеплом и не откопанных, птенцы не вывелись. Не повезло и тем чайкам, гнезда которых были откопаны, но яйца частично оставались в пепле. Большинство таких яиц оказалось со временем твердо сцементированными пеплом, увлажненным дождем или влажным оперением родителей. Из таких яиц тоже ничего не вывелось. В целом у калифорнийских чаек успешно появились на свет птенцы более чем из 40% раскопанных яиц, а у кольцеклювых чаек — примерно из 50%. Был случай, когда набившийся пепел своеобразной пробкой закрыл у пуховичка горло, и тот погиб. У другого птенца нога оказалась сцементированной в пепел. Но прямых болезненных эффектов, кроме конъюнктивита, у птенцов не было.

Большинство чаек, которые не сумели раскопать

гнезда, приступили к кладкам вторично. Все эти наблюдения относятся к колонии, засыпанной — пеплом на 3,5 см. На другом озере, где выпало всего 0,5 см пепла, существенных изменений в поведении и размножении чаек не произошло.

Пепел, скопившийся в неровностях коры деревьев, может стать причиной стирания рулевых перьев у дятлов. Так было в Мексике после извержения вулкана Парикутин (1943 г.). При попадании с пищей в рот пепел может способствовать стиранию зубов у млекопитающих. Токсичность пеплов для млекопитающих иллюстрируют следующие примеры. При извержении Геклы (Исландия) в 1947 и 1974 гг. домашний скот погибал, отравившись фтором. Фтор был адсорбирован пеплом в виде фтористо-водородной (плавиковой) кислоты.

В литературе описан случай, когда в Новой Зеландии только после длительных исследований удалось установить причину непонятной болезни овец. Виной тому оказался кобальт, содержащийся в пепле. Пришлось весь скот перевезти на другие пастбища, пока дождь не смыл пепел с прежних пастбищ. На Камчатке пепел Толбачика стал причиной гибели в 1975 г. оленей, выпавших на тундрах вулканического дола. С 10 июля, т. е. через несколько дней после начала извержения, и до 25 августа погибло 635 оленей, хотя они находились в десятках километров от вулкана. Причиной тому стало поражение крупными кристаллами пепла слизистой оболочки органов пищеварения, утончение слизистой, вздутие желудков. Важнейший отдел желудка — книжка — был буквально забит пеплом. Был нанесен большой ущерб местному оленеводству, уцелевшие стада пришлось переводить за сотни километров в безопасные районы.

Пеплы приносят в водоемы разнообразные химические соединения, которые могут оказывать либо угнетающее, либо благоприятное воздействие на водных обитателей. Кроме того, пепловые частички сами по себе загрязняют водоемы. Известны случаи, когда вулканические пеплы, попадая в реки, ручьи, колодцы, надолго делали невозможным использование воды в качестве питьевой (Аляска, 1912 г; Камчатка, 1956 г.).

Большую известность получили исследования И. И. Куренкова, установившего, что пепел Безымянного стимулировал развитие фитопланктона, главным об-

разом диатомовых водорослей, в озере Азабачьем, на Восточном побережье Камчатки, но подействовал угнетающе на планктонных ракообразных. Это вызвало цепь важнейших изменений в биологическом сообществе. В тот год на бассейн Азабачьего выпало около 1 млн. т пепла, содержащего до 4 тыс. т легкорастворимых солей. Это явление повторилось и после пеплопадов Толбачика в 1975—1976 гг. При извержении Алаида в 1981 г. (Северные Курильские острова) пеплопад прошел и над озером Курильским, причем в первый год наблюдалось его ингибирующее воздействие на развитие водорослей, вызванное, видимо, значительной кислотностью пепловых экстрактов.

Так или иначе, но прямое влияние пеплопадов на живые организмы разнообразно и проявляется на больших территориях далеко за пределами вулканов. Этим они отличаются от других вулканогенных факторов прямого воздействия.

Воздействие грязевых потоков. Грязевые потоки, или лахары, — одно из следствий извержений. В 79 г. нашей эры при извержении Везувия под ними был погребен римский город Геркуланум. Это произошло тогда же, когда пепел и лапилли (куски лавы) похоронили Помпеи. Случилось это так: конденсация паров, выброшенных извержением в верхние слои атмосферы, обусловила сильные ливни, которые вызвали грязевые потоки. Грязевые потоки возможны и при извержении через кратер вулкана, заполненного озером. Такие случаи наблюдались в Индонезии (вулкан Келуд на Яве в 1919 г., когда было залито 200 км² поверхности земли) и на Антильских островах. В результате извержения на кратерных озерах может произойти прорыв запруды. Но самая распространенная причина возникновения лахаров — необычайно быстрое, бурное таяние снега и ледников на склонах вулкана перед извержением или во время его. Если воды меньше, чем твердых веществ, то образуется оползень — поток или каменная лавина.

Прямое воздействие лахаров на живую природу столь же катастрофично, как и пирокластических потоков. Масштабы катастрофы зависят от мощности потока (а это означает, что и от мощности снегового покрова, от количества, температуры и характера отложений извержения), а также от особенностей рельефа.

В любом случае растительность, оказавшаяся на пути лахара, погибает.

В 1877 г. в Эквадоре при извержении Котопахи грязевые потоки достигали длины 150 миль по прямой. На Безымянном в 1956 г. такие потоки прошли около 90 км, выйдя к реке Камчатке — основной водной артерии полуострова. В тот год слой снега в конце зимы достигал здесь 1—2 м. Под покровом раскаленного пепла в осевой части взрыва снег растаял полностью, а на удалении — частично. В долине реки Сухой Хапицы и на склонах сопки грязевые потоки сокрушали все на своем пути. На протяжении 15 км по реке остались огромные нагромождения грязи. В одних местах она была горячей, в других — холодной. В осевой части потоков густые леса были буквально сметены, деревья скошены, как трава, а стволы унесены вниз. Местами остались только невысокие расщепленные пеньки. Ближе к краям потоков деревья и кустарники остались на месте, и здесь кое-где образовались труднопроходимые лесные завалы. В конце лахара в виде своеобразной конечной морены отложилась хаотичная смесь грязи, стволов и ветвей деревьев.

В результате взрыва на Шивелуче 12 ноября 1964 г. лахары пронеслись узкими (300—400 м) потоками всего на 2—3 км, срезая деревья и увлекая за собой глыбы. Высота потока достигала 3 м. Оставив свой груз в виде нагромождения стволов деревьев и глыб, потоки широко разлились по лесу еще на 5—6 км, ничего не разрушая. В данном случае относительно небольшую мощность лахаров обусловили сроки извержения (снега в это время было еще мало) и небольшой объем первоначального материала.

Большое влияние лахары оказывают на водоемы. Небольшие озера, оказавшиеся на их пути, бывают целиком завалены грязью. После извержения Безымянного в 1956 г. в Усть-Камчатске неделю речную воду нельзя было пить и даже употреблять в технических целях. Грязь вызвала массовую гибель рыбы. В результате извержения Сент-Хеленса в 1980 г. 17 миль верховий Таутла наполнилось колоссальным количеством горячей грязи, пепла и обломков породы. Температура воды поднялась, галечниковые отмели — места нереста лососевых рыб — были погребены под осадками. Только по истечении трех лет некоторые галечники очистились

от грязи благодаря сильному течению, отмели и берега реки вновь начали зарастать водорослями, появились водные насекомые и отнерестились первые дососи.

И все же ни один из известных примеров не может сравниться с колоссальным грязевым потоком, который, как считают специалисты, возник 40—50 млн. лет назад на территории нынешнего Йеллоустонского национального парка в США. Согласно реконструкции он залил 11 тыс. км² поверхности, достигая общей мощности 2 км! Масштабы этой катастрофы, если она действительно произошла, трудно себе представить.

Воздействие вулканических наводнений. При таянии ледников во время извержений может сразу образоваться огромное количество воды, которая мощными потоками устремляется по склонам вниз. Прямых наблюдений за воздействием таких наводнений на животных или растительность в литературе нет. Но, учитывая известные ситуации, можно предполагать, что воздействие может быть катастрофическим. В Исландии, например, такие наводнения бывали неоднократно. Так, в 1947 г. со склонов Геклы внезапно стекло около 3 млн. м³ воды и произошло сильное наводнение. Ледник Мирдаль на вулкане Катла за 1 с спустил 92 тыс. м³ воды. Образовавшийся поток нанес большой ущерб.

Воздействие сейсмических толчков, шума и неожиданной темноты. Сейсмические толчки, сопровождающие извержения вулканов или предшествующие им, сами по себе могут, вероятно, влиять на животных, их поведение, вызывая беспокойство, даже откочевку. Такие случаи известны. Например, очевидцы рассказывают, что по мере усиления активности извержения Мон-Пеле в апреле 1902 г. кошки покидали город Сен-Пеле, впоследствии сгоревший, а змеи выползали из расщелин в старой лаве на склонах вулкана, «наводнили» поля и приблизились к городу. Есть информация об откочевке некоторых зверей с началом извержения Толбачика в 1978 г.

В таких фактах, когда они действительно происходят, нет ничего сказочного. Звери и птицы чутко и значительно раньше человека реагируют на сейсмические толчки. Подробнее об этом можно узнать из литературы, посвященной биологическим предвестникам землетрясений. В 1976 г. в Калифорнии этой проблеме было посвящено специальное совещание, а недавно в окрестностях Алма-Аты создан центр по изучению реакции

животных на подземные толчки. Только нужно помнить, что, анализируя особенности поведения животных в связи с сейсмической активностью вулканов, следует опираться на достоверные факты, избегая кажущихся очевидными домыслов. Ведь известно, что даже в дни активного извержения вблизи вулканических конусов и лавовых потоков нередко удается увидеть зверей или следы их пребывания, не говоря о птицах. Обычно сейсмическая активность вулканов относительно невелика, но при гигантских извержениях, таких, например, как Катмай в 1912 г., подземные толчки, даже человеком, ощущаются в десятках и сотнях километров. Изучением воздействия на животных низкочастотных колебаний сейчас занимаются ученые в разных странах, и в этом направлении можно ожидать интересных открытий.

Дополнительным фактором, беспокоящим животных, заставляющим их покидать окрестности вулканов, может быть шум и грохот, сопровождающие сильные извержения. Для иллюстрации силы такого шума можно вспомнить, что недавнее извержение Сент-Хеленса было слышно в окружности 200 км. А извержение Кракатау в 1883 г. (Зондский архипелаг), одно из самых сильных известных извержений в историческое время, было слышно за 3500 км, взрыв Тамбора в 1815 г. (островок Сумбава вблизи Явы) — более чем за 3000 км. Грохот таких извержений в непосредственной от них близости труднопереносим и человеком.

На поведение животных может оказать влияние и неожиданно наступившая тьма при чрезвычайно интенсивном пеплопаде. По свидетельству очевидцев, во время сильнейшего пеплопада при извержении Катмай в 1912 г. и Безымянного в 1956 г. (Ключи) не было видно вытянутой руки. Вспомним о наблюдениях американских орнитологов, рассказавших, что чайки покинули свои гнезда во время пеплопада, находясь более чем в 300 км от извергавшегося Сент-Хеленса. Во время катастрофического извержения Кракатау на расстоянии 160 км все окуталось дымом и пеплом; ближайший остров был во тьме в течение 56 ч. При извержении Безымянного в поселке Ключи стало так темно, что там весь день не выключали электроосвещение. Даже при не столь мощном извержении Алаида в 1981 г. пепловая туча, пройдя более 300 км, стала причиной дневного сумрака в городе Елизово на Камчатке. Конечно, такие явления не

могли пройти бесследно для животных, но к сожалению, квалифицированных наблюдений практически нет.

Непосредственное (прямое) влияние вулканической деятельности после извержения.

Вулканы могут быть активны тысячи лет. Это не означает, что все время происходит извержение. Вулканы временами затихают, нередко на сотни лет, потом вновь пребуждаются, иной раз совершенно неожиданно. В конце концов извержения прекращаются. Но глубоко в недрах вулканов еще очень долго, тысячелетиями, сохраняются магматические очаги. Они нагревают вышележащие породы, и те, в свою очередь, тоже становятся источником тепла. Когда в таких местах в породах образуются трещины, по ним на поверхность устремляются магматические газы. Поверхностные воды по тем же трещинам проникают в глубину, где нагреваются, обогащаются глубинными компонентами и выходят на поверхность вблизи вулканов в виде водяного пара и разного рода термальных источников, насыщенных химическими соединениями. Образуются термальные (сульфатарные) поля — участки местности, где сосредоточено множество парогазовых проколов, бессточных воронок, грязевых котлов, кипящих источников, где сама поверхность нагрета, а породы изменены кислыми растворами до разноцветных глин. Высокая температура газа, воды и грунта, а также токсические химические соединения — основные факторы прямого воздействия сульфатар на живые организмы.

Японские и советские ботаники установили, что прямым воздействием соединений, содержащих галогены, серу, аммиак, возле термального поля повреждается ассимиляционный аппарат растений, а высокая концентрация токсических веществ полностью губит растения. Так, в окрестностях сульфатар на вулкане Хаккода (Япония) под воздействием сероводорода происходит плазмолиз и разрушение хлоропластов, в результате чего изменяется цвет листьев. На вулкане Менделеева, что на Кунашире, в 50—70 м от сульфатар у кедрового стланика хвоя покрыта белесоватым налетом серы, отчетливо выражен некроз хвои; некроз листьев отмечен и у курильского бамбука. Из-за наличия токсических соединений и высокой температуры на сульфатарных полях имеются более или менее обширные участки (зоны), совершенно лишенные почвы и растительности.

Струи горячего газа и водяного пара обжигают насекомых и других беспозвоночных. В кальдере Узона и в долине реки Гейзерной в нишах старых грязевых котлов и по периметру многих грифонов порой скапливается до нескольких десятков, даже сотен насекомых, главным образом двукрылых и мелких жесткокрылых. Многие из них еще подолгу остаются живыми, но неспособными летать. Возможно, виной тому не только высокая температура, но и ядовитые газы. На Камчатке неоднократно случаи гибели в кипящих источниках и в грязевых котлах птенцов гусеобразных птиц, мелких млекопитающих, а на Кунашире — змей и ящериц. Они попадают туда случайно, пересекая термальные площадки.

Бывают ситуации и совершенно необычные. Так, в 1974 г. на Узоне произошло самовоспламенение серы. Выделившийся при этом удушливый сернистый газ стал причиной отравления небольшого числа птиц и мелких млекопитающих. Благодаря ветру этот газ не скапливался, и потому масштабы «катастрофы» были невелики. Те, кто бывали в кальдере Узона зимой, знают особенность этого удивительного места. В тихие дни термальные поля и их окрестности заволакивает туман с сильным запахом сероводорода. Бывает, что это становится причиной откочевки некоторых животных. И человек чувствует себя в такой атмосфере «неуютно».

Вообще случаи отравления животных на сольфатарных полях, выделяющих сернистый газ и сероводород в период затухания вулканической деятельности, не редкость. Особенно часты они на участках с мофеттами. Мофетты — это разновидность фумарол, насыщенных холодными газами, главным образом углекислотой и сероводородом, а также водяным паром. Они образуются в период замирания вулканической деятельности.

Погибших медведей-гризли, например, находили в так называемом Мертвом ущелье близ Йеллоустонского национального парка. В Долинах смерти на Яве (а их здесь шесть) находили задохнувшихся бородатых яванских свиней и других млекопитающих, птиц, известен случай гибели человека. В Эйфеле (ФРГ) где мофетты окружают кратерное Лаахернское озеро, находили погибших насекомых, птиц, мышей. Вблизи Неаполя в районе Флегерийских вулканических полей в древних выработках известняка имеется так называемый Собачий

грот, где погибают животные, в частности собаки. Смерть животных во всех случаях объясняли высокой концентрацией углекислого газа, скапливавшегося в приземных слоях воздуха.

В 1975 г. своеобразная Долина смерти обнаружена в верховьях реки Гейзерной на Камчатке. По своим особенностям она, пожалуй, не имеет аналогов. Камчатская Долина смерти находится в зоне активных вулканических и поствулканических процессов на пути поднимающихся с больших глубин газов с высоким содержанием сероводорода. Участок, где наблюдается гибель животных, приурочен к довольно узкой речной долине протяженностью не более 2 км и шириной от 100 до 500 м на высоте 850—900 м над уровнем моря. На этом участке есть площадка размером 100×30 м, где чаще всего обнаруживают трупы зверей и птиц.

Среди павших здесь животных 12 видов млекопитающих, 13 видов птиц и многие виды насекомых с преобладанием двукрылых. Почти все виды — характерные обитатели субальпийки. Среди млекопитающих нет таких обитателей гор, как черношапочный сурок и снежный баран. Они растительноядны, а лишенные растительности склоны и дно долины ручьев не привлекают их внимания. По той же причине за 10 лет с момента открытия Долины смерти зарегистрировано лишь по одному погибшему арктическому суслику, зайцу и пищухе. Все крупные звери, павшие в верховьях Гейзерной, 14 бурых медведей, 9 лисиц, 5 росомых — хищники, охотно питающиеся падалью.

Из птиц таковы ворон (22 особи) и белоплечий орлан. Их привлекают трупы погибших животных. Спускаясь к ним, они погибают сами и, в свою очередь, привлекают других. Что касается остальных видов птиц, то здесь наблюдаются случайные залеты (слеток дрозда, птенцы куропатки, чечевица), а кроме того, птиц может привлекать оголенный грунт и обилие погибших насекомых. Почти все воробьиные погибли преимущественно весной и обнаружены на проталинах среди снега. Большинство полевок гибнет летом и осенью в период расселения молодняка. Время гибели животных (с мая по октябрь) совпадает с периодом, когда дно и склоны долины реки Гейзерной освобождаются от снега. Позы лежащих птиц и млекопитающих, а также состояние их

внутренних органов свидетельствовали об их внезапной смерти от удушья.

Еще в 1976 г. при первых обследованиях Долины смерти было установлено, что в составе спонтанных газов источников преобладает углекислый газ (до 76%) с небольшой примесью сероводорода. Было высказано предположение, что именно углекислый газ, скапливающийся в понижениях, и становится причиной гибели животных. Это казалось очевидным, поскольку примеры подобных явлений широко известны в разных районах планеты. Однако благодаря регулярным наблюдениям в Долине смерти появлялись все новые дополнительные факты, которые нельзя было объяснить однозначно. Во-первых, выяснилось, что не каждое посещение животными Долины смерти оканчивается для них гибелью. Крупные звери, а также вороны и орланы иногда безопасно кормятся трупами и перетаскивают их с места на место. Во-вторых, места гибели животных не всегда постоянны. В одни сезоны звери и птицы преимущественно погибали на террасе ручья, в другие — непосредственно по его берегам. Поражало и то, что процесс разложения (гниения) трупов происходил очень медленно, они сохранялись необычайно долго.

Долиной смерти заинтересовались вулканологи. Г. А. Карпов с соавторами обратили внимание на то, что в породах, слагающих берега ручьев, обильны включения почти чистой самородной серы. Выше основной площадки гибели животных, на берегу ручья, отмечено сильнейшее сернокислотное выщелачивание сероносных пород, обусловленное окислением серы тионовыми бактериями. Тогда как непосредственно в зоне Долины смерти окислительная деятельность тионовых бактерий оказалась подавлена, а концентрация их на образцах серы (10^3 клеток/г) была на несколько порядков ниже, т. е. в Долине смерти господствует не окислительная, а восстановительная среда. Вот и разгадка явления длительного сохранения трупов — она в относительной стерильности среды.

Возникло предположение о решающей роли именно сероводорода в специфике камчатской Долины смерти. Анализы подтвердили это. На дне колодца, образовавшегося весной в результате провала снега над ручьем, воздух, отобранный в 10—15 см над поверхностью воды, содержал 21,25 мг/л сероводорода (1,41 объемного про-

цента) и был резко обеднен кислородом. Этот показатель более чем в 20 раз превышает летальную концентрацию для человека: На высоте 50 см сероводорода было 10,2 мг/л (0,69 объемных процента). В воде ручья было до 105,4 мг/л сероводорода, и все камни в нем покрылись налётом серы. Снег возле «колодца» также оказался насыщен сероводородом. На открытых продуваемых местах сероводорода в воздухе не было. В составе воздуха Долины смерти обнаружены и другие высокотоксические газы: двуокись серы, сероуглерод, карбонилсульфид. В образцах самородной серы обнаружены пары синильной кислоты.

Тяжелые токсические компоненты воздуха (углекислота и сернистые соединения) концентрируются в приземном слое. Это явление, называемое химической мезомиксией, обусловлено микрорельефом и погодными условиями. Таким образом, гибель зверей и птиц объясняется тем, что они передвигаются по дну долины с опущенной головой при осмотре и поедании трупов. Это и оказывается для них роковым. Поскольку концентрация газов у земли зависит от микрорельефа, от силы и направления ветра, осадков, тумана и т. д., то ситуации, складывающиеся в разные дни и сезоны, неодинаковы. К тому же, вероятно, и выходы газов изменяются во времени. Не случайно Франц Юнгхун, посетивший мофетты на Яве 30 раз, лишь в четырех случаях обнаружил в котловине газ. По его словам, бывало, что он умышленно вдыхал воздух у грифонов, не ощущая каких-либо болезненных последствий.

В камчатской Долине смерти у человека, стоящего во весь рост возле мофетт, признаки отравления обычно появляются через 10—25 мин. Но был случай, когда ночью в безветрие даже кратковременный переход по дну долины не прошел бесследно. Нормальное самочувствие восстанавливается примерно через 30 мин после того, как человек покидает долину реки. Опускаться на колени, а тем более ложиться на грунт в зоне Долины смерти — крайне опасно для жизни.

Очевидна и своеобразная трофическая цепь, определяющая очередность гибели животных. Она начинается гибелью полевок и птиц весной на берегах ручьев. Вслед за ними погибают лисицы, патрулирующие берега, вороны, замечающие мертвых животных. Затем хорошо заметные издали трупы привлекают росомх и

медведей. Эта схема может реализоваться лишь частично. Но в ее реализации убеждают эксперименты, проведенные работниками Кроноцкого заповедника. Стоило вовремя убирать трупы животных (инициаторов), как цепь прерывалась и общее количество гибнущих зверей и птиц сокращалось.

Косвенное влияние вулканической деятельности на живые организмы. Глобальный аспект.

В период извержения вулканов воздушные течения быстро разносят взвешенный выброшенный материал, загрязняя атмосферу над огромными участками земной поверхности. Известно, что вулканическая пыль от вулкана Кракатау в 1883 г. за 13 дней обогнула земной шар, оставаясь в слоях стратосферы еще несколько месяцев. Частицы дупла, выброшенного вулканом Агунг на острове Бали (Индонезия) в 1963 г., были обнаружены на высоте около 20 км в США (Техас) и над штатом Виктория в Австралии. Пепел от взрыва Безымянного в 1956 г. через несколько суток появился в верхних слоях тропосферы вблизи Лондона. Космонавт Г. М. Стрекалов вспоминает, что пепловая туча при извержении Алаида в 1981 г. простиралась от Северных Курильских островов через весь Тихий океан до берегов Северной Америки.

Загрязнение атмосферы вулканическим пеплом не проходит бесследно. Ряд советских и зарубежных ученых установили, что оно может вызвать в течение нескольких месяцев или лет уменьшение прозрачности атмосферы и ослабление солнечной радиации на 10—20%. Пылевые частицы становятся своего рода ядрами конденсации, способствуя развитию облачности. Есть расчеты, согласно которым увеличение облачности на 10% ведет к понижению среднегодовой температуры на 2°C.

200 лет назад Бенджамен Франклин предположил, что вулканическая пыль и газы могут оказаться причиной изменения климата. Современные расчеты показали, что наибольшие отклонения температуры отмечаются во второй (после извержения) месяц, а для возвращения температуры к норме требуется по крайней мере несколько месяцев. Отклонения температур могут быть очень значительны. Так, в местностях, оказавшихся на пути пеплового шлейфа Сент-Хеленса в мае 1980 г., дневная температура упала на 8°C, а ночная по-

высилась на 4—6°C. Дело в том, что пепловые частицы хорошо поглощают и испускают тепловое излучение, не давая ночью остыть нижним слоям атмосферы.

Есть мнение, что колебания прозрачности атмосферы из-за взвешенных частиц могут привести к столь существенному глобальному изменению климата, что оно вполне может закончиться крупной климатической катастрофой. Одним из первых такую идею высказал американский метеоролог В. Хамфрис, анализирувавший результаты последствий гигантских извержений вулканов Катмаи и Кракатау. К этому можно добавить, что сильнейшее извержение Тамбора в 1815 г., когда в воздух было выброшено до 186 км³ пирокластического материала, повлияло на климат Европы и Северной Америки. Следующий за извержением год называют «годом без лета». В Лондоне, например, было холоднее в среднем на 2—3°, а в Северной Америке в тот сезон не вызрел урожай.

М. И. Будыко сформулировал концепцию о возможности в прошлом аэрозольных катастроф. Она основана на анализе и математических расчетах понижения температуры нижних слоев атмосферы в случае совпадения нескольких крупных извержений или в случае одного извержения, но на порядок более мощного, чем извержения Катмаи или Кракатау. Такие катастрофы могли сопровождаться понижением средней глобальной температуры на 5—10°C и более, что, конечно, оказывало влияние на живые организмы. Родилась гипотеза, объясняющая этим массовые вымирания живых организмов в геологическом прошлом.

И. В. Мелекесцев установил, что есть связь по времени между крупнейшими вспышками взрывной вулканической деятельности и плейстоценовыми (средняя из трех эпох четвертичного периода истории Земли) оледенениями. Это интригующее открытие. Вулканическую деятельность в этом случае нужно рассматривать, конечно, не единственным фактором, способствовавшим оледенениям. Но она, вероятно, могла быть дополнительным импульсом, который приводил к росту ледников.

Региональный аспект. Изменения среды обитания животных, растений и микроорганизмов под воздействием вулканогенных факторов в региональном масштабе представляют собой следствия прямого воздействия взрывов, отложений выброшенного материала, палящих, туч, газов. Но кроме того, это следствия пожаров, цу-

нами, электромагнитных аномалий и других явлений, которые нередко сопровождают извержения. При этом из-за мощных выбросов в атмосферу летучих компонентов возрастает минерализация атмосферных осадков, увеличивается содержание в них ионов, понижаются значения pH.

Известны исследования Л. А. Башариной, установившей существенное влияние вулканизма на атмосферные осадки и воздух на Камчатке. Пеплы, содержащие большое количество водно-растворимых веществ, изменяют химический состав почв, радиационную обстановку. Небольшие пепловые присыпки ведут к модификации зонального почвообразовательного процесса, а погребение пеплами почв означает начало новой фазы почвообразования с формированием слонсто-пепловой почвы. В зависимости от времени года, периодичности и количества выпадающего пепла отмечено либо ускорение схода снега до 15—20 дней, либо, наоборот, задержка снеготаяния более чем на две недели или даже консервация снежников. По мнению И. А. Соколова, пеплопады влияют и на биологический круговорот.

Все это так или иначе отражается прежде всего на растительности. С погребением подстилки и нижних ярусов растительных сообществ изменяются условия естественного возобновления древесных и других растений, причем реакция разных видов неодинакова, что приводит к изменению сообществ в целом. В частности, повышается роль пионерных видов даже в сомкнутых группировках. Оказывая губительное воздействие на некоторых насекомых, пеплопады нарушают пищевые (трофические) связи в сообществах, что порой может привести к нежелательным последствиям для сельскохозяйственных культур. Известно, что при извержении вулкана Парикутин (Мексика, 1943 г.) в его окрестностях погибли насекомые, уничтожавшие вредителей сахарного тростника. В результате в тот год плантации сахарного тростника пострадали от этих вредителей.

Региональные аспекты влияния вулканической деятельности на живые организмы, и прежде всего на растительность, тесно смыкаются с проблемой вулканического районирования и прогноза вулканической опасности. Разумеется, это актуально для регионов, где сосредоточены активные вулканы. В 1962 г. своеобразная прогнозная карта была составлена Мархининым для Кам-

чатки и Курильских островов. При ее составлении были учтены опасные явления, сопровождающие извержения, рельеф местности, характер деятельности каждого вулкана. Прогноз ущерба лесам оправдался практически во всех случаях значительных извержений.

Есть мнения о том, что вулканическая деятельность может оказаться важным региональным фактором изменений в экосистемах океанов и морей. К. С. Сидоров пришел к пониманию необходимости учета вулканизма при анализе установленных им изменений в структуре прибрежных донных сообществ Командорских островов. Его вывод таков: уровень биологической продуктивности у берегов Командорских островов тесно связан со взрывами камчатских вулканов. Суть этой связи в том, что пеплы Алаида (1981 г.) и Толбачика (1975—1976 гг.) могли быть своеобразными удобрениями, стимулировавшими необычайно мощное развитие бобровой капусты в несвойственных ей местах, с проникновением ее на значительные глубины (18—20 м). Одновременно наблюдалось мощное развитие фитопланктона, главным образом перидиней, крупные вспышки которых вызывают цветение моря, известное под названием «красный прилив».

В силу развившихся заморных явлений поля бобровой капусты стали причиной гибели многих беспозвоночных и рыб. Они стали своеобразным барьером, препятствующим проникновению взрослых животных и планктонных личинок в литораль (прибрежные зоны) и верхние горизонты сублиторали. Продукты метаболизма от цветения фитопланктона в виде слизи заполняли впадины и расщелины на донном склоне, вытесняя подвижных обитателей на приподнятые участки дна, где наступало их «перенаселение». В итоге было подорвано воспроизводство морских ежей — кормовых объектов ценнейшего морского зверя — калана. Сработала сложнейшая цепь взаимосвязей в биологическом сообществе.

Анализ карт распределения биогенных элементов, первичной продукции и хлорофилла в поверхностных слоях Мирового океана, по мнению Сидорова, подтверждает предположение о том, что наиболее продуктивные зоны находятся либо в непосредственной близости от районов активной вулканической деятельности, либо тесно связаны с ними господствующей атмосферной циркуляцией или направлением поверхностных течений.

Местный (локальный) аспект. Изменения условий

обитания живых организмов (кратковременные или длительные, катастрофические или сукцессионные, биотические или абиотические) и вызываемые ими трансформации биологических сообществ, а также изменения образа жизни, экологии, физиологии и развития отдельных организмов в непосредственной близости от вулканов чрезвычайно разнообразны. Они бывают следствием как прямого воздействия вулканогенных факторов, так и косвенного влияния явлений, сопутствующих извержениям. В этой брошюре рассмотреть все эти изменения не представляется возможным. Остановимся на наиболее интересных и важных.

Вначале о косвенном влиянии вулканической деятельности на обитателей водоемов. Водные экстракты и пепел вулкана Безымянного (1956 г.), поступившие в озеро Азабачье, резко изменили количественные показатели биологических процессов. Численность основного представителя первого трофического уровня — диатомовой водоросли мелозиры увеличилась на два порядка через 3—4 месяца после пеплопада. Для организмов второго трофического уровня — планктонных ракообразных — воздействие экстрактов в первые 4 года было неблагоприятным. Но по мере нейтрализации токсических соединений и при обильном корме, которым для них являются диатомеи, численность циклопов и дафний возросла до необычайных размеров. Представитель третьего трофического уровня экосистемы озера — молодь лососей (красная), которая до ската в море два года нагуливается в озере, все это время питалась планктоном богатым рачками. Благодаря хорошей обеспеченности кормами в среднем возросли размеры рыб, их масса и упитанность, а это, в свою очередь, определило очень высокую выживаемость красной в море и необычайно высокий процент ее возврата в озеро на нерест.

Таким образом, прямое воздействие вулканических пеплов на одни живые организмы оказало косвенное влияние (по цепи взаимозависимых процессов) на другие организмы и на сообщество в целом. Понимание важности химического состава пепла для трофодинамических процессов в лососевых озерах, расположенных в районах активного вулканизма, позволило разработать метод так называемой фертилизации — мероприятий по интенсификации продуктивности озер в рыбохозяйственных целях путем внесения удобрений. Эти мероприятия

сейчас активно проводят под руководством И. И. Куренкова на озере Курильском. Первые результаты эксперимента обнадеживают. Так сама природа подсказала путь к интенсификации хозяйственного освоения рыбных запасов Камчатки. Но эту подсказку нужно было уметь увидеть. Это наглядный пример практического использования результатов исследований в области экологических проблем биовулканологии.

Представляет интерес изучение процессов освоения более чем 50 видами рыб термальных водоемов. Большинство — при температурах до 30—35°C. Отдельные виды выдерживают температуры до 45°C. В источниках с низкими показателями pH и в водах, содержащих значительные концентрации токсических газов, они не сохраняются. Поэтому в термальных ключах вулканогенного происхождения рыбы обычно встречаются только в низовьях. Термальная ихтиофауна неоднородна. Есть в ней эндемичные «термофильные» формы, обособившиеся в подвиды, виды или роды. Но есть и местные, живущие в обычных водоемах, отдельные популяции которых либо временно посещают термальные ключи, либо проводят там часть своей жизни.

Пребывание в условиях постоянно повышенных температур ведет к физиологическим и морфоэкологическим изменениям в организме. Самые существенные — в возрастании интенсивности обменных процессов: рыбы быстрее развиваются и нередко начинают размножаться при меньших размерах. Камчатский ихтиолог Ю. С. Басов, изучающий условия жизни лососевых в термальных ключах, установил, что Молодь, нагуливающаяся в оптимально теплых водах, быстрее растет и в одном и том же возрасте в сравнении со своими сородичами из холодных ручьев имеет большие размеры и массу. Этому, в частности, способствует и хорошая обеспеченность кормами. Более крупные размеры молоди, скатывающейся в океан, — это залог ее лучшей выживаемости, условие достижения наибольшего процента возврата на нерест. Результаты исследований в этом направлении позволяют надеяться на использование геотермальных вод, которыми богаты Камчатка и Курильские острова, для воспроизводства лососевых и других видов рыб и повышения рыбопродуктивности водоемов.

Своеобразие биологических сообществ термальных ключей еще в том, что у кромки горячей воды круглый

год, включая морозные и снежные месяцы, активны пресноводные моллюски, пауки-ликозиды и некоторые насекомые (главным образом двукрылые). Особенно замечательны небольшие мухи-береговушки, образующие колонии на илистых склонах, по которым стекают струи теплой воды. Они размножаются весь год. Редкая способность в умеренных широтах.

Разнообразно косвенное влияние вулканической деятельности на растительность. Свидетельство тому — отсутствие на вулканах или вблизи них ясных границ между территориальными группировками, снижение верхних пределов распространения типичных растительных сообществ, сужение или выпадение отдельных полос, а подчас и целых поясов, преобладание мозаичных, комплексных сообществ, находящихся на разных стадиях сукцессий. Все это свидетельствует о нарушении нормального типа высотной дифференциации растительного покрова. П. Л. Горчаковский и С. Г. Шиятов выделяют особый экологический тип верхней границы леса — вулканогенный.

Установлено, что пеплопады особенно отрицательно действуют на зеленые и сфагновые мхи, а также кустарнички. В связи с этим в непосредственной близости от кратеров вулканов ярус зеленых мхов нередко отсутствует, встречаются лишь небольшие куртинки. По мере удаления от очагов извержения обилие мхов под пологом хвойных лесов возрастает.

В результате воздействия на деревья и кустарники вулканогенных факторов в большинстве случаев происходит снижение радиального годичного прироста, особенно в первые 2—3 года после извержения. Интенсивность этого снижения в основном определяется степенью повреждений кроны, ствола и корневой системы растений, а также резкостью ухудшения почвенно-грунтовых и микроклиматических условий. После некоторых воздействий (скажем, умеренных пеплопадов) деревья и кустарники довольно быстро восстанавливают свою жизнеспособность и прирост, после других (ударное, огневое повреждение, мощные наносы в основании ствола) жизнеспособность растений восстанавливается длительное время либо совсем не восстанавливается до прежнего уровня. Бывает и положительное воздействие вулканической деятельности на радиальный прирост деревьев и кустарников. Это может произойти в результате привноса

пеплом в почву полезных минеральных веществ, более раннего таяния снега, улучшения микроклимата.

Интересно стимулирующее влияние вулканического пепла как своеобразного удобрения для растений. Установлено, что на поверхности свежевывавших пепловых чаеиц сорбируется большое количество фосфатов, реже калия, которые, вероятно, и вызывают повышение урожайности. После извержения Безымянного в 1956 г. в поселке Ключи и его окрестностях заметно возросли урожаи овощей. Сделанные И. И. Товаровой расчеты свидетельствуют о том, что только за один день 30 марта 1956 г. вулкан выбросил пеплы, содержащие в виде легкорастворимых солей 450 тыс. т азота, 80 тыс. т калия, 36 тыс. т магния, 35 тыс. т кальция.

Благоприятный эффект влияния вулканических пеплов на сельскохозяйственные культуры известен давно. Не случайно в некоторых странах, например в Индонезии, Италии, Японии, люди охотно селились вблизи активных вулканов, разрабатывали близлежащие земли под поля, несмотря на очевидную опасность извержений.

Своеобразные растительные сообщества складываются возле термальных источников и вокруг сольфатарных полей. Среди произрастающих здесь растений есть термофильные эндемики, нигде более, кроме как у термальных ключей, не встречающиеся. Сотрудники Кроноцкого заповедника Л. И. Рассохина и О. А. Чернягина, изучавшие растительные сообщества термалей Долины гейзеров, установили, что их своеобразие обусловлено необычно высокими почвенными температурами корнеобитаемого слоя в вегетационный период и более широкой, чем в обычных условиях, амплитудой их колебания. Вид-эпифит фимбристелис охотский.

Другие компоненты термальных растительных сообществ хотя и не эндемики Камчатки, но в ее пределах встречаются преимущественно на термальных местообитаниях. В их числе многолетники — полевницы парная и шероховатая, зюзник одноцветковый, болотник камчатский. У этих растений ползучие корневища и зимующие почки, легко укореняющиеся, образующие придаточные корни, часто неглубоко внедряющиеся в почву, что значительно облегчает их возможность обитания в условиях аномально прогретых почв. Они селятся на участках, уже занятых мхами и фимбристелисом. Известно, что, несмотря на сильный подогрев, температура поверхност-

ных слоев почвы и — что особенно важно — корнеобитаемого слоя находится в непосредственной зависимости от погоды, в частности от осадков. Дожди заметно охлаждают почву.

С высокотемпературными биоценозами соседствуют растительные сообщества некоторых типичных для региона ассоциаций, в частности, высокотравных с видом-эдификатором — шеломайником камчатским. Такие сообщества формируются на приречных склонах и террасах с хорошим почвенным дренажем, а гумусовой подстилкой и умеренным тепловым режимом почв. Термальный подогрев в естественных условиях на 40—50 дней удлиняет период вегетации растений, однако их рост и сезонное развитие находятся в зависимости от общих климатических условий местности. На термальных местобитаниях растения этих сообществ нередко угнетены.

Термальные фитоценозы Камчатки отличаются необычайно ранними сроками начала вегетации ряда видов. Так, разрушение снежного покрова на термальных участках Долины гейзеров начинается с середины—конца февраля. Уже в начале марта при общих отрицательных температурах воздуха на них начинается вегетация фимбристелисы охотского, появляются всходы полевиц, прорастают зимующие почки многолетников. По мере схода снега и оттаивания верхнего горизонта почвы обычно в марте начинается вегетация других растений.

Косвенное влияние вулканической деятельности на наземных беспозвоночных изучено слабо. В СССР, видимо, первыми были исследования Н. А. Конакова на Курильских островах. Заслуживают внимания работы, выполненные П. А. Хоментовским на Камчатке. Он установил, что своеобразные долины сухих речек, в результате миграции которых на значительных площадях погибают деревья, представляют собой не только особые местобитания, но и важнейшие пути быстрого расселения насекомых-ксилофагов сквозь высотные растительные пояса. Именно сухие речки, вероятно, в немалой степени способствовали формированию современного ареала малого хвойного усаха в бассейне реки Камчатки. В этом смысле вулканическая деятельность, вызывающая гибель большого числа деревьев под пеплами, косвенно может стать причиной возникновения кратковременных очагов массового размножения насекомых — вредителей древесных пород.

На сольфатарных полях и вдоль их границ формируются оригинальные комплексы беспозвоночных животных. Вместе с пауками-ликозидами некоторые насекомые здесь круглогодично ведут активный образ жизни. Их численность довольно высока. Есть мнение, что термальные площадки могли быть своего рода убежищами для теплолюбивой фауны, позволившими ей пережить периоды похолоданий и сохраниться в виде реликтовых фрагментов.

В Кроноцком заповеднике проведен цикл исследований по оценке вулканогенных факторов размещения, численности и биологии птиц. На термальных полях и непосредственно вдоль их границ гнездятся обычные представители зонального (ландшафтного) пояса, конкретно — тех растительных сообществ, которые здесь преобладают. Численность птиц очень мала. Возможность гнездования определяется наличием достаточно густого и высокого растительного покрова, хотя бы в виде небольших островков (от 0,5 м² и более). Птицы не избегают нагретых участков, но устраивают гнезда не в самых теплых местах, а там, где умеренные (но чаще всего более высокие, чем на окружающей местности) температуры поверхности грунта сочетаются с достаточно густой и высокой растительностью, позволяющей надежно укрыть гнездо.

Преобладают камчатская (белая) и желтая трясогузки. Они способны устраивать гнезда возле фумарол, кипящих источников и грязевых котлов в куртинах вейника, ситника, голубики и спиреи. Такой способностью обладает еще до десятка видов. Гнездовые участки большинства других птиц обычно расположены за границей активных термальных площадок. Там, где поверхность грунта прогрета до 42—45°C и выше, растительности либо нет, либо она столь скудна, что птицы лишены возможности укрыть гнездо. Это ставит предел размещению большинства видов. Максимальные температуры у основания гнезд на островках, заросших растительностью, достигают 30—31,5°C, а в нишах старых грифонов — 37°C (горная трясогузка). Обычно температуры не превышают 17—25°C. Кратковременные посадки птиц и поиск ими корма возможны и на значительно более прогретых местах, до 42—45°C, а случайная посадка чирка-свистунка отмечена на ручье с температурой воды 51°C и рН=4.

Гнезда, устроенные в хорошо прогретых местах, отличаются расположением и конструкцией. Чем выше температура грунта и влажность, тем менее глубокими делают лунки под гнездо трясогузки и овсянка-ремез. В отдельных случаях желтые трясогузки устраивают гнезда прямо на поверхности земли, укрепляя их в основаниях стеблей прочных трав. Кроме того, на термальных площадях они используют значительно меньше материала как по количеству, так и по числу компонентов, и главное — не так обильно, либо вовсе не утепляя лоток перьями и волосом. Несколько гнезд камчатской трясогузки было экспериментально проверено на теплопроводность: она оказалась выше у гнезд на термальных полях. Видимо, адаптации птиц в обычных условиях направлены на изоляцию содержимого гнезда от внешней среды, а на термальных полях — на умеренный допуск тепла.

Большой интерес представляют этологические адаптации птиц к насиживанию кладок на термальных полях. Оказалось, что все основные формы поведения, осуществляемые без проявления высокой двигательной активности (ночной отдых, дневной покой, чистка оперения), в общем, совмещаются с насиживанием у птиц и на термальных полях, и за их пределами. Но у первых комфортное поведение (например, чистка оперения) часто осуществляется в перерывах между насиживанием за пределами гнезд. Основные действия, при помощи которых насиживающая птица создает в гнезде оптимальные условия для эмбриогенеза (кратковременное привставание над кладкой или на край гнезда, переворачивание яиц клювом, ерзающие движения из стороны в сторону, изменение частоты, продолжительности перерывов и пребывания в гнезде и т. д.), отличаются у птиц, гнездящихся на термальных полях или гнездящихся в других местах. Эти отличия наиболее значительны у пар, гнезда которых расположены в сильно прогретых местах.

В гнездах желтых трясогузок на слабо прогретых участках ритм насиживания оказался, в общем, таким же, как и в некоторых гнездах, устроенных открыто на сухой шлаковой тундре, в горах, где солнце сильно нагревает поверхность грунта. Камчатские трясогузки на термальных полях значительно больше времени оставляют кладку открытой, перерывы в насиживании у них,

как правило, более продолжительные, а отдельные акты насиживания кратковременны. Смена партнеров чаще всего затягивается, нередко и общее количество слетов с гнезда больше.

Специальные действия, связанные с насиживанием и защитой кладки, сохраняются и у птиц на термальных полях. Чирок-свистунок, покидая кладку, укрывает ее пухом так же, как это обычно делают гусеобразные в нормальных условиях. Подмечено, что у камчатских желтых трясогузок в обычных условиях насиживание длится 12—14 дней, а в хорошо прогретых гнездах — 10—13 дней.

В период выкармливания птенцов приемы поиска и схватывания добычи у взрослых птиц на термальных полях, в общем, те же, но в среднем они затрачивают на это меньше времени и соответственно (хотя и не во всех гнездах) несколько чаще приносят корм птенцам. Иногда птицы используют и своеобразные приемы сбора корма, например, подбирая полуживых (или отравленных) насекомых. Впрочем, даже птицы, гнездящиеся непосредственно на термальных полях, нередко улетают за кормом далеко за их пределы. Пара камчатских трясогузок, гнездившаяся на краю термального поля, собирала корм птенцам на площади 32 200 м², а гнездившаяся вдали от терм — на площади 15 800 м². Тем не менее первые приносили корм немного чаще. Быть может, именно этим можно объяснить факты, свидетельствующие о том, что в обычных условиях птенцы у камчатских трясогузок покидают гнезда на 15—16-й день, а в хорошо прогретых гнездах — на 12—15-й день.

Этим не ограничивается косвенное влияние вулканических факторов на птиц. Замечено, что вблизи горячих источников и вокруг термальных полей птицы нередко размножаются значительно раньше (разница порой достигает 2—3 недель), чем на удалении от них. У некоторых птиц, в том числе у дуплогнездников, бывает выше размер выводка, а в годы с суровыми веснами у таких птиц заметно выше успех размножения. Чем холоднее весна, тем больше, например, водно-болотных птиц концентрируется вокруг термальных полей Узона. А у здешних куропаток отмечены более ранние сроки линьки. Известно, что регулярные зимовки гусеобразных птиц в некоторых районах Камчатки обязаны своему существованию именно подтоку термальных вод. Мощные

площадки Узона и долины Гейзерной привлекают воробьиных птиц в периоды миграций.

Благодаря специфическим микроклиматическим условиям вокруг мощных термальных полей в горах иногда формируются своеобразные природные комплексы, не имеющие аналогов на такой высоте. Таков, к примеру, природный комплекс кальдеры вулкана Узон. Здесь, совершенно изолированно, на высоте 650 м над уровнем моря, гнездятся некоторые птицы, ближайшие границы ареала которых находятся за сотни километров, либо нигде более в соседних районах на такой высоте не встречаются. Плотность размещения некоторых водноболотных птиц превышает максимальные показатели, известные для региона. И основным фактором, способствовавшим этому, является гидротермальная деятельность.

Ну а как млекопитающие? Сказываются ли на их поведении, образе жизни и биологии следствия активности вулканов? Сказываются. И пожалуй, наиболее наглядный пример известен для окрестностей реки Гейзерной. Старейший исследователь фауны Камчатки Ю. В. Аверин пишет, что ранняя свежая зелень на термальных площадках реки Гейзерной благоприятствует успешной зимовке снежных баранов, которые откочевывают с вершины соседнего вулкана в долину реки (с 600—800 до 400 м над уровнем моря). Ранние «пастбища» Гейзерной привлекают и других зверей. Весной здесь обилие медведей. По склонам каньона в иные дни можно одновременно насчитать до 14—18 медведей. Они мирно кормятся на прогретых, свободных от снега участках, поедая свежую растительность, разрывая зимние запасы полевков.

Привлекают медведей весной и долины других термальных ручьев. Медведи, зайцы, северные олени, суслики используют термальные площадки в качестве источников минерального питания. Они слизывают соль с поверхности грунта, иногда делают небольшие покопки в глине. Некоторые черты поведения медведей на термальных полях таковы, что при всей осторожности в их оценке так и напрашивается предположение о возможности использования зверями... лечебных или, если хотите, профилактических свойств термальных вод и глины. Это касается тех случаев, когда медведи, казалось бы, бесцельно бродят по хорошо прогретым, лишен-

ным растительности участкам, топчутся и ложатся в грязь, подолгу простаивают в воде. Собственно, использование вод и мокрой глины, богатых разнообразными химическими соединениями, в качестве средств избавления от эктопаразитов кажется вполне естественным.



Зоны воздействия вулканогенных факторов

Природа вулканогенных факторов обуславливает зональность в оценке характера их воздействия. Воздушные волны, отложения взрывов, пирокластические, лавовые и грязевые потоки, пеплопады, сейсмические толчки и шум, сопровождающие извержения, а также концентрация химических соединений и температура воздуха, воды и грунта на термальных полях и вблизи термальных источников — все это наиболее сильно выражено непосредственно вокруг кратеров, грифонов, источников, термальных площадок. С удалением от них сила, энергия, мощность и другие величины основных характеристик этих факторов уменьшаются. Не всегда равномерно во все стороны, но радиально от их источника. В одних случаях эту картину усложняет рельеф, в других — погодные условия. Но радиальный градиент изменения наблюдается всегда.

Зоны воздействия вулканогенных факторов на живые организмы при извержении. Территорию, прилегающую к активным вулканам, Ю. И. Манько делит на три зоны, учитывая степень воздействия вулканогенных факторов на растительность. Непосредственно к вулкану прилегает зона, в которой растительность испытывает наибольшее влияние. Именно здесь встречаются своеобразные вулканогенные пустыни, где растительность полностью уничтожена. Площадь этой зоны невелика, а ее граница может быть установлена по распространению лапилли — сравнительно крупных обломков, пирокластичес-

ких и лавовых потоков. Во второй зоне основные факторы непосредственного и косвенного воздействия — это отложения пирокластического материала и загрязнение атмосферы. Внешние границы этой зоны соответствуют распространению слоисто-пепловых почв. В следующей зоне — растительность испытывает преимущественно влияние, связанное с привносом минеральных частиц, не ведущее к существенной перестройке растительных сообществ.

Соответственно с изменением растительности как основного компонента среды обитания можно рассматривать и зональность в оценке воздействия вулканических извержений на животное население. П. А. Хоментовский, анализируя воздействие пеплопадов Толбачика на деревья и соответственно на насекомых-ксилофагов, выделяет три зоны. В ближайшей к вулкану зоне погибших окоренных шлаком деревьев (на расстоянии 2—4 км от конусов) насекомые не могут развиваться из-за отсутствия луба. В следующей зоне — погибших неокоренных деревьев (2—6 км) ксилофаги могут развиваться, но происходит это не всегда. Суммарный радиус этих двух зон на Толбачике в 1975—1976 гг. не превышал 8—10 км. Третьей выделена зона поврежденных, но не погибших и потому не заселенных насекомыми деревьев. Ее протяженность достигала 60 км и более.

В отношении птиц выделяются зоны уничтоженных и нарушенных сообществ. За внешнюю границу зоны нарушенных сообществ принята изолиния пепловых отложений мощностью 10 см и более. В пределах этой зоны происходят локальные понижения численности местных популяций, главным образом наземногнездящихся видов, и изменяется пространственное размещение их сообществ. Зона уничтоженных сообществ птиц практически совпадает с зоной погребенной растительности и зоной несомкнутого растительного покрова. При извержении Толбачика в 1975—1976 гг. наземные экосистемы были полностью уничтожены на расстоянии 4—7 км, а площадь, на которой сообщества птиц оказались нарушенными, составила около 400 км².

Воздействие вулканогенных факторов на живые организмы после извержения. Б. А. Тихомиров, изучавший растительность термальных источников Чукотки, и Х. Х. Трасс, который провел аналогичные исследования на Камчатке, обратили внимание на зональное распреде-

ление растительности возле горячих ключей. Дело в том, что радиальные градиенты температуры почвы создают неодинаковые условия для произрастания растений на разном расстоянии от источников. В связи с этим возникают своеобразные микрозоны, отличающиеся составом растительности и ее структурой.

В Долине гейзеров, по материалам Рассохиной и Черняжиной, размеры таких микрозон могут быть от нескольких сантиметров до нескольких метров на высокотемпературных участках. Самую первую микрозону, ближайшую к источнику, для которой характерны наивысшие температуры почвы в корнеобитаемом слое ($38-60^{\circ}\text{C}$), представляет фимбристилис охотский. Затем обычно выделяют микрозону с участием в травостое фимбристилиса и полевиц (температура здесь уже ниже: $35-43^{\circ}\text{C}$). Еще дальше следует микрозона с участием болотника камчатского либо зюзника одноцветкового и других растений. Здесь температура почвы составляет всего $28-40^{\circ}\text{C}$. Обычно в травостое таких микрозон присутствует один вид, создавая монодоминантный ценоз. Появление нового вида приводит к усложнению структуры, развитию двухъярусности.

Зональность может проявляться не только в составе растительности, но и в сроках их развития. Так, зональность процесса таяния снега (от термальных источников) определяет и зональность начала вегетации растений весной: самые ранние — непосредственно у источников.

Микрозональность в распределении растительности обнаружена и на сольфатарных полях. Это было показано В. П. Ворошиловым и А. Н. Сидельниковым на вулкане Менделеева (остров Кунашир). Они выделили четыре микрозоны. Первая, «лишенная высших растений и лишайников», занимает, по сути, всю основную часть активной термальной площади. Для нее характерны отсутствие почвы, наличие глиноподобных пород кислой реакции, интенсивные процессы водной эрозии, высокая концентрация токсических газообразных соединений. По периферии термального поля выделена вторая микрозона «с единичными высшими растениями и лишайниками». Ее ширина от 5 до 30 м. Температура субстрата здесь ниже, но кислотность поверхностного слоя субстрата такая же, как и в предыдущей микрозоне. Третья микрозона «сомкнутых зарослей кедрового стланика»

хорошо выражена в виде полосы шириной от 30 до 250 м вокруг всего сольфатарного поля. Мощность опада и подстилки здесь достигает 21 см, а под ними выражен гумусовый горизонт мощностью 8 см. С глубины 29 см распространен субстрат, аналогичный тому, что находится в первой микроне. Внешняя, четвертая, микроне представлена зарослями курильского бамбука. Почвенный профиль здесь значительно отличается от такового на сольфатарном поле.

Разумеется, в разных климатических зонах и в разных регионах распределение растительности вокруг термальных источников и сольфатарных полей различается по количеству, составу и структуре микроне, их размеру. Даже в долине Гейзерной на протяжении нескольких километров характер зональности неодинаковый.

В соответствии с зональностью распределения растительности на сольфатарных полях следует рассматривать и зональность в размещении насекомых и птиц. Она выражена и в составе видов, и в особенностях их экологии. На термальных полях Узона установлено, что температура грунта аномально высока (с точки зрения ее влияния на гнездящихся птиц) только непосредственно в пределах термального поля, на участках, лишенных растительности, рядом с фумаролами и горячими источниками. К границе термального поля температура грунта быстро уменьшается и уже на первых 5—6 м обычно становится близкой к средним показателям для окружающей местности, а ее изменения далее легко объясняются экспозицией склона, структурой растительности, влажностью и т. д.

Заметное уменьшение температуры почвы по фону (на 3—10° в зависимости от характера растительности) происходит еще на протяжении нескольких десятков метров, а затем температура остается примерно одинаковой, так что у периферии кальдеры, в 2—4 км от термальных полей, она ниже (по фону) лишь на 2—4°C. Это означает, что у птиц, гнезда которых расположены далее 5—6 м от края термального поля (зона третья), едва ли приходится ожидать существенных изменений в экологии в качестве реакции (или адаптации) к условиям повышенных температур. Да и те из них, что поселяются вдоль границы термального поля на первых 5—6 м от его края (зона вторая), хотя и гнездятся в условиях повышенного температурного фона, но не

столь аномального, чтобы вызвать существенные к нему адаптации. Серьезным можно ожидать воздействие температуры лишь на те гнезда, которые расположены непосредственно на активных термальных площадках (зона первая). Это и было подтверждено прямыми наблюдениями.

В принципе зональность в оценке воздействия на растительность и животное население (прежде всего насекомых и птиц) можно предполагать для любого из физико-химических факторов вулканического происхождения, если эти факторы столь существенны, что оказывают влияние на живые организмы. В том числе и для опосредованного (косвенного) их воздействия. Иллюстрация тому — оценка американскими учеными влияния хищников (птиц, млекопитающих и рептилий) на успех размножения наземногнездящихся птиц в зоне извержения Сент-Хеленса. На двух участках в зоне воздействия извержения (в 13 и 20 км от вулкана) и на контрольном участке в 32 км от конуса были сделаны искусственные гнезда с кладками перепелов. На первом участке гибель кладок в течение двух лет составила по 5% ежегодно; на втором — 53 и 20%, а на контрольном была совершенно незначительной. Ученые объясняют это так: на первом участке растительный покров уничтожен, но сильно пострадали и популяции хищников, что уменьшило пресс их воздействия на «кладки»; на втором участке, где растительность частично сохранилась, популяции хищников остались относительно стабильными, а бедность растительного покрова и одноцветность поверхности пеплового субстрата демаскируют гнезда, «облегчая» их поиск. На контрольном участке основную защитную роль сыграл растительный покров, не пострадавший от извержения.

Изменения биологических сообществ на вулканических отложениях. Установлено, что зарастание лавовых потоков растительностью — процесс очень длительный. Впрочем, скорость и направление изменений (сукцессий прежде всего) зависят от климатической зоны и высоты над уровнем моря. Высоко в горах лавовые потоки зарастают дольше, чем в приморской полосе, а в тропиках — заметно быстрее, чем в умеренных широтах. На Гавайских островах уже через 5 лет после излияния лавы на ее поверхности появляются лишайники, а до становления климаксовых лесных сообществ проходит

более 120 лет. Через 10 лет лавы одного из вулканов Африки были сплошь покрыты лишайниками, тогда как в теплом климате Сицилии Гарун Тазиев описывает лавы «давностью в полстолетия», совершенно лишенные растительности. В Японии сукцессии лесной растительности проходят стадии мхов и лишайников, затем — трав, потом — кустарников и, наконец, лесов. На это уходит от 500—700 до 1000 лет. Для Камчатки есть сведения о том, что лишайники и первые высшие растения появляются на лавовых потоках менее чем через 35—50 лет, т. е. относительно скоро после окончания извержения. Но есть указания на отсутствие высших растений на лавках, возраст которых менее 200 лет. Исследованиями Д. Ф. Ефремова показано, что на лавках Ключевской группы вулканов высокополнотные лиственничники формируются в течение 800—1200 лет.

Заращение рыхлых вулканических отложений — пеплов и шлаков — происходит значительно быстрее. Причем образование растительных сообществ происходит по-разному на разном удалении от центра извержения, поскольку зависит от наличия источников семян, сохранности почвы, состояния покровного субстрата и других причин. Одни процессы включают в себя первые стадии заселения растениями первично свободной территории, а также территории, где ранее существовавшая растительность уничтожена и почвенный покров погребен на значительную глубину, недостижимую для корней растений. Другие развиваются на участках, где растительность была уничтожена или сильно повреждена, а почвенный покров находится на поверхности или в пределах корнеобитаемого слоя. В любом случае процесс заращения растениями вулканогенных отложений происходит либо благодаря участию так называемых пионерных видов, внедряющихся на новые местообитания извне, либо благодаря сохранившимся растительным группировкам, пережившим извержения в благоприятных местах. На разных вулканах, в разных регионах может преобладать тот или иной путь.

Пионерные виды растений, заселяющие вулканогенный субстрат, используют в первую очередь микросклоны южной экспозиции и места, защищенные от ветра. Склоны северной экспозиции зарастают гораздо слабее, как и котловинообразные понижения, в которых нередко долгое время сохраняется снег, а в период вегетации

может скапливаться холодный воздух. По принципу заселения пионерными видами растений идет зарастание свежих отложений в дельтах сухих рек.

Время появления пионерных видов и скорость освоения ими субстрата зависят в основном от расстояния до источников семян, степени сохранности вегетативных органов растений, степени нарушенности прежней растительности, а также от характера и особенностей самих вулканических отложений.

Что касается формирования растительных сообществ благодаря сохранившимся остаткам прежней растительности, то центрами расселения могут быть участки, приуроченные к старым лавовым потокам. Такие участки отличаются очень неровной поверхностью, в результате чего пеплы накапливаются в основном в понижениях, а повышенная часть микрорельефа остается обнаженной. Растения из таких участков как раз и могут быть источником семян и способствовать расселению видов, характерных для климаксового сообщества. На важность островков растительности, переживших извержение, для последующего восстановления фитоценозов неоднократно указывали зарубежные ботаники, изучавшие растительные сукцессии на Гавайских и Галапагосских островах. Именно этот путь стал основным в процессах восстановления экосистем вблизи Сент-Хеленса. Причем как на одно из важнейших обстоятельств, благоприятствовавших тому, американские ученые обратили внимание на сохранность корневой системы растений, оказавшихся в области пеплопадов.

Зарастание пеплово-шлаковых полей начинается, по сути, в первые же сезоны после окончания извержения. В районе Сент-Хеленса уже через 3 года были найдены примерно 90% видов растений (около 230 видов), произраставших здесь в качестве обычных до извержения. На пеплах Тяти через 7 лет после извержения найдено 15 видов травянистых и 18 видов древесно-кустарниковых растений. На пеплах Кракатау через 2 года после извержения обнаружено 26 видов растений, а 41 год спустя здесь рос густой лес.

Сукцессии животного населения изучены значительно хуже, но одно совершенно ясно: восстановление животного населения тесно сопряжено с формированием фитоценозов. Исследования в Кроноцком заповеднике на лавовых потоках вулкана Крашенинникова показали, что

появление первых растений еще не привлекает птиц на гнездование. Гнездящиеся пары появляются там, где растительность образует сомкнутые группировки хотя бы небольшими участками с общим проективным покрытием на них не менее 30—40%. Для лавовых потоков вулкана Крашенинникова — это тот необходимый минимум условий, который позволяет птицам заселять вулканогенные отложения. Одними из первых такие места заселяют короткоклювый зуек и американский (горный) конек, но на первых стадиях заселения их численность очень низка. С развитием разнорусности растительного покрова поселяются лапландский подорожник, местами желтая трясогузка. С кустами кедрового стланика появляются куропатки, в частности тундряная, если это высоко над уровнем моря, и далее, с усилением позиций кустарников, растет число типичных обитателей субальпики. В конце концов формируется типичный зональный орнитологический комплекс.

В условиях Камчатки формирование сообществ птиц на вулканогенных отложениях — процесс исключительно длительный. Мало того, что ему предшествуют процессы зарастания отложений растительностью, но во-первых, птицы поселяются на определенных и далеко не первых стадиях ее развития, а во-вторых, длительным является сам процесс формирования сообщества. В кальдере Крашенинникова (800—1000 м над уровнем моря) первые простейшие сообщества птиц формируются на лавовых потоках возрастом 1000—1500 лет. Правда, нужно иметь в виду очень суровые природные условия этих мест. В зоне приморских лесов, где вулканические отложения зарастают намного активнее и только на склонах, подверженных эрозии, сохраняются оголенные участки, сообщества птиц формируются быстрее.

Сходными путями восстанавливаются водные экосистемы. Американские ученые, изучавшие последствия извержения Сент-Хеленса, установили, что и здесь важнейшим обстоятельством, способствовавшим процессам восстановления сообществ, стало выживание определенной части животного населения. Например, некоторые саламандры, лягушки, раки, водные насекомые кое-где выжили потому, что они находились во время взрыва в донных осадках. Рыбы выжили главным образом в озерах, покрытых снегом и льдом. Зоопланктонные сообщества претерпели катастрофические изменения в струк-

туре, но в их составе оказались виды, сумевшие приспособиться к новым условиям. Мы упоминали о том, что в верховьях Таугла уже через 3 года отмели и берега начали зарастать водорослями, появились водные насекомые и отнерестились первые лососи.

Сукцессии на вулканических отложениях и в водоемах, экосистемы которых нарушены вулканогенными факторами, представляют собой удобную естественную модель для анализа закономерностей формирования и становления биологических сообществ вообще.

Вулканическая деятельность как региональный фактор динамики и эволюции природных сообществ. Оценивая экологические последствия извержений, нельзя не обратить внимание на несколько важных обстоятельств. Во-первых, на разнообразие вулканогенных факторов и форм их воздействия на живые организмы и биологические сообщества в целом. Во-вторых, на многофакторность вулканических явлений, имея в виду, что важнейшие из них сами по себе одновременно воздействуют в разных аспектах (ударный и термический эффекты воздушных волн и т. д.). В-третьих, на комплексность воздействия вулканогенных факторов, поскольку этим воздействием одновременно охватывается и атмосфера, и водоемы, и почва. В-четвертых, на длительность экологических последствий влияния вулканизма. В-пятых, на отсутствие в большинстве случаев избирательности воздействия вулканогенных факторов.

Извержения вулканов нарушают состояние и естественную динамику биологических сообществ, и эти нарушения носят комплексный характер, поскольку сразу нарушается среда обитания живых организмов и сами сообщества на всех уровнях и в разных аспектах. Непосредственное (прямое) влияние вулканогенных факторов обуславливает и их косвенное влияние.

Там, где вулканы расположены на небольшом расстоянии друг от друга, окружающие ландшафты время от времени в большей или меньшей степени испытывают разрушающее и повреждающее воздействие вулканогенных факторов, а природные сообщества обязаны своим обликом последствиям извержений и находятся на разных стадиях сукцессий и восстановительных смен. В СССР к таким территориям относится вулканический хребет и прилегающая к нему зона Восточной Камчатки, а также Курильские острова, где сосредоточено око-

ло 230 вулканов, из которых 67 — действующих.

Роль вулканизма в истории развития растительности. По мнению И. А. Егоровой, важную роль в развитии растительности Восточной Камчатки мог сыграть верхнеплейстоценовый вулканизм, уничтоживший рефугиумы древесной растительности ледникового времени. Действительно, в конце верхнего плейстоцена на Восточной Камчатке активизировалась вулканическая деятельность. Образовались мощные кальдеры вулканов Крашенинникова, Малого Семячика, Опапы, Ксудаца, Горелого, озера Карымского. Вспышка кислого вулканизма отмечена и в начале голоцена. Крупномасштабный кальдерообразующий вулканизм отличался необычайной мощностью пирокластических покровов. О том, как это могло отразиться на восстановлении древесной растительности со времени оледенения, свидетельствуют следующие сравнения. В Узонской депрессии в голоцене крупных вулканических событий не было; пыльцевые спектры указывают на возобновление березовых лесов здесь 8 тыс. лет назад. В 60 км от Узона в Карымском вулканическом центре 8 тыс. лет назад образовалась одноименная кальдера с извержением огромного количества пирокластике. Палинологические исследования показали, что здесь березовые леса возобновились лишь 6 тыс. лет назад. В Паужетской депрессии береза появилась уже в конце голоцена. Но 8 тыс. лет назад здесь произошло крупное извержение с образованием пемзовых покровов, связанных с Курильским озером. После этого березовые леса возобновились здесь только в позднем голоцене.

Важно подчеркнуть, что существенное по масштабам влияние на развитие растительности в регионе оказал именно кальдерообразующий вулканизм. Формирование стратовулканов, по мнению И. А. Егоровой, оказало лишь местное влияние.

Деятельность вулканов после извержений как фактор формирования термальных биогеоценозов. В местах длительного выхода теплых вод, пара или газов, будь то на дне океанов, морей или на суше, формируются биологические сообщества, своеобразные по облику, сезонному ритму развития, биогеоценотическим связям, адаптациям, круговороту вещества и энергии. По сути, это самостоятельные термальные биогеоценозы. Постэруптивная деятельность вулканов является определяю-

щей в формировании термальных биогеоценозов сольфатарных полей. Эти биогеоценозы существуют за счет непрерывного подтока геотермальных вод и газов, благодаря залегающим вблизи поверхности магматическим очагам. Они отличаются довольно четкими пространственными границами. Их специфика в значительной степени определяется прежде всего деятельностью микроорганизмов (бактерий, водорослей), использующих химические соединения в качестве источника энергии и преобразующих продукты глубинных эксгаляций.

Изучение термальных биогеоценозов представляет большой интерес и с точки зрения фундаментальных научных дисциплин, и с практических позиций создания моделей искусственных экосистем.

Роль вулканической деятельности в эволюции живых организмов. Вулканическую деятельность можно рассматривать прямым или косвенным фактором эволюции живых организмов. В первом случае эволюция популяций есть следствие, например, длительного обитания живых организмов в специфических условиях термальных полей (источников, излияний). В результате среди микроорганизмов, растений, беспозвоночных, рыб возникли эндемичные термофильные формы на уровне вариаций, подвидов, видов и родов. Среди морских беспозвоночных есть эндемичные для термалей семейства.

Косвенным фактором эволюции популяций вулканическая деятельность может быть, например, в тех случаях, когда она способствует изоляции этих популяций. Примером тому является эволюция гольцов в озере Кроноцкое, что на Восточной Камчатке. Озеро Кроноцкое; площадью 312 км², образовалось как подпрудное в результате того, что около 10 тыс. лет назад лавовые потоки вулканов Крашенинникова и Кроноцкой сопки перекрыли долину реки Пра-Кроноцкой. Озеро находится на высоте 372 м над уровнем моря. Р. М. Викторовский установил, что в результате длительной изоляции гольцы образовали здесь ряд эндемичных форм. Красная (нерка), также оказавшаяся изолированной, образовала в озере жилую форму — кокани, которая круглый год живет в озере, не скатываясь в море. С. И. Куренков, много лет изучающий кроноцкую кокани, установил, что она, в свою очередь, дивергировала на две расы — бентофагов и планктофагов, отличающихся экологически и морфологически.

Медицинские аспекты экологических проблем в биовулканологии. В непосредственной близости от вулканов и уж во всяком случае в зоне воздействия вулкано-генных факторов проживают значительные контингенты населения. Мы уже говорили о том, что прямым воздействием вулканические извержения нередко губят сельскохозяйственные посевы, скот, уничтожают деревни, поселки, а порой и довольно крупные города с многотысячным населением. Известны многократные случаи отравлений людей продуктами вулканической деятельности (вспомним недавнюю трагедию на озере Ниос). Мощные извержения своим шумом, сейсмическими толчками, пеплопадами, внешним видом пеплово-газового столба оказывают негативное психологическое воздействие на местное население. Однако влияние вулканической деятельности на жизнь и здоровье людей не только в этом. В медико-биологическом аспекте область активного вулканизма можно рассматривать естественным полигоном для исследований адаптивных реакций организма человека в ответ на периодическое и резкое изменение условий среды.

Вулканы выбрасывают огромное количество биологически активных соединений, в связи с чем области активного вулканизма отличаются специфическими условиями и могут рассматриваться как отдельные медико-географические провинции. Известно, например, что очаги эндемического флюороза зубов, вызываемого нарушениями в кальциевом обмене организма при интоксикации высокими дозами фтора, имеют место прежде всего в Японии, Камчатке, Сицилии и некоторых других местах. Действительно, именно вблизи действующих вулканов была впервые отмечена токсичность природных соединений фтора. При извержении Толбачика в 1975—1976 гг. в некоторых близлежащих к вулкану водоемах концентрация фтора, внесенного туда пеплами, достигала 10—20 мг/л. Потребление такой воды возможно только в течение очень ограниченного времени.

В последние годы благодаря работам А. П. Ильницкого с соавторами стала очевидной роль вулканов в формировании природного уровня канцерогенных полициклических углеводородов типа бенз(а)пирена. Предполагается наличие в вулканических продуктах химических соединений, которые усиливают действие канцерогенов.

Биологически активные соединения поступают в окружающую среду не только при извержениях вулканов, но постоянно выносятся сольфатарами, горячими источниками.

С точки зрения влияния на здоровье людей — причем не только отрицательного, но и положительного — изучаются соединения мышьяка, цинка, меди и многих других элементов. С их наличием связывают бальнеологическое действие термальных вод в районах современного или недавнего вулканизма. На Камчатке, например, известно около 200 термальных ключей, многие издавна славятся своими лечебными свойствами. На некоторых построены санатории и дома отдыха. Этим вопросам посвящена обширная медицинская литература.

Заключение

Итак, экологические проблемы в биовулканологии — насущные проблемы науки и практики сегодняшнего дня. К сожалению, еще бытует мнение о том, что вулканы оказывают влияние на живую природу в столь незначительном масштабе, на столь малых участках земной поверхности и столь редко, что проблем якобы не создают. Такое мнение можно объяснить незнанием существа вопроса, и мы надеемся, что эта брошюра убеждает в этом.

Какие бы масштабы не имели последствия вулканической деятельности, вулканизм — явление глобальное, а экологические проблемы, возникающие вследствие влияния вулканической деятельности на экосистемы, — реальны. И уже потому должны быть изучены. Что же касается экологических проблем вулканологии, то, кроме научного, они как раз имеют и практическое значение, на что мы неоднократно обращали внимание на страницах этой брошюры.

Особое значение приобретают медицинские аспекты экологических проблем в биовулканологии. В их изучении сделаны первые шаги. Полученные результаты убеждают в их актуальности. Перспективы здесь большие. Они касаются прежде всего здоровья и жизни людей в вулканических районах, но в целом их значение шире.

Литература

Будыко М. И., Голицын Г. С., Израэль Ю. А. Глобальные климатические катастрофы. — М.: Гидрометеиздат, 1986.

Герасименко Л. М., Карпов Г. А., Орлеанский В. К., Заварзин Г. А. Роль цианобактериального фильтра в трансформации газовых компонент гидротерм на примере кальдеры Узон на Камчатке // Журнал общей биологии. — Т. XLIV. — 1983. — № 6.

Заварзин Г. А. Бактерии и состав атмосферы. — М.: Наука, 1984.

Манько Ю. И. Влияние современного вулканизма на растительность Камчатки и Курильских островов. — В кн.: Комаровские чтения. — Вып. 22, 1974.

Мархинин Е. К. Вулканы и жизнь. — М. Мысль, 1980.

Мархинин Е. К. Вулканизм и биосфера // Вулканология и сейсмология. — 1985. — № 4.

Научно-популярное издание

Евгений Георгиевич Лобков
ВУЛКАНЫ И ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ
(Экологические проблемы в биовулканологии)

Редактор *И. Тужилина*
Главный отраслевой редактор *А. Нелюбов*
Мл. редактор *Л. Щербакова*
Художник *Н. Константинова*
Худож. редактор *Т. Егорова*
Техн. редактор *И. Жаворонкова*
Корректор *Л. Иванова*

ИБ № 9468

Сдано в набор 20.11.87. Подписано к печати 29.01.88. А-02639. Формат бумаги 84×108¹/₂. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,51. Тираж 49 160 экз. Заказ 2369. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 886102.
Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку. Подписка на брошюры издательства „Знание“ ежеквартальная, принимается в любом отделении „Союзпечати“.

Напоминаем Вам, что сведения о подписке Вы можете найти в „Каталоге советских газет и журналов“ в разделе „Центральные журналы“, рубрика „Брошюры издательства „Знание““.

Цена подписки на год 1 р. 32 к.



СЕРИЯ

БИОЛОГИЯ