

УДК 551.21

Б. Н. Лузгин

Риски и притяжение вулканов

Некоторые итоги научного изучения вулканов. Вулканы – необычайно яркое природное явление, внушающее почти священный ужас свидетелям этих природных катастроф. Вулканология ведет свое исчисление с 79 г., со страшной трагедии Стабии, Геркуланума и Помпеи, связанных с извержением Везувия и увековеченных в истории, литературе, живописи и музыке. Прошло почти два тысячелетия, в течение которых вулканизм вдруг оборачивался какой-нибудь новой неожиданной стороной. С грохотом раскалывались конусы стратовулканов (Кракатау в Индонезии); проваливались в недра амфитеатры кальдер (Плинианский вулкан); огромные площади заполнялись расплавом вязкой лавы (Лаки в Исландии); извивались огненными потоками русла раскаленных рек (вулканы Гавайских островов); выстреливали каменным градом и пеплом вверх и вбок (Стромболи на Липарских ос-

тровах и Бандасай на Японских); незаметно струились ядовитыми газами (Ниос, Камерун); или проносились на бешеной скорости «раскаленными тучами» пепла вниз по долинам, сметая все на своем пути (Мон-Пеле на Мартинике); вскипали воды у морских берегов (Везувий); исчезали и вновь возрождались над уровнем моря островершие острова (Богослов на Курилах). Не раз огнедышащие горы, укрощаясь, замирали на длительные времена, умиротворяя все вокруг; в то время как другие неожиданно и грозно пробуждались после вековых снов, создавая «лунные» ландшафты. Были случаи, когда вулканы появлялись в крестьянских подворьях (Парикутин в Мексике), вырастая за считанные месяцы в высоту до 300–400 м (рис. 1).

И сколько раз ученые, из поколения в поколение передававшие накопленные знания в виде стройных теорий и неожиданных гипотез,

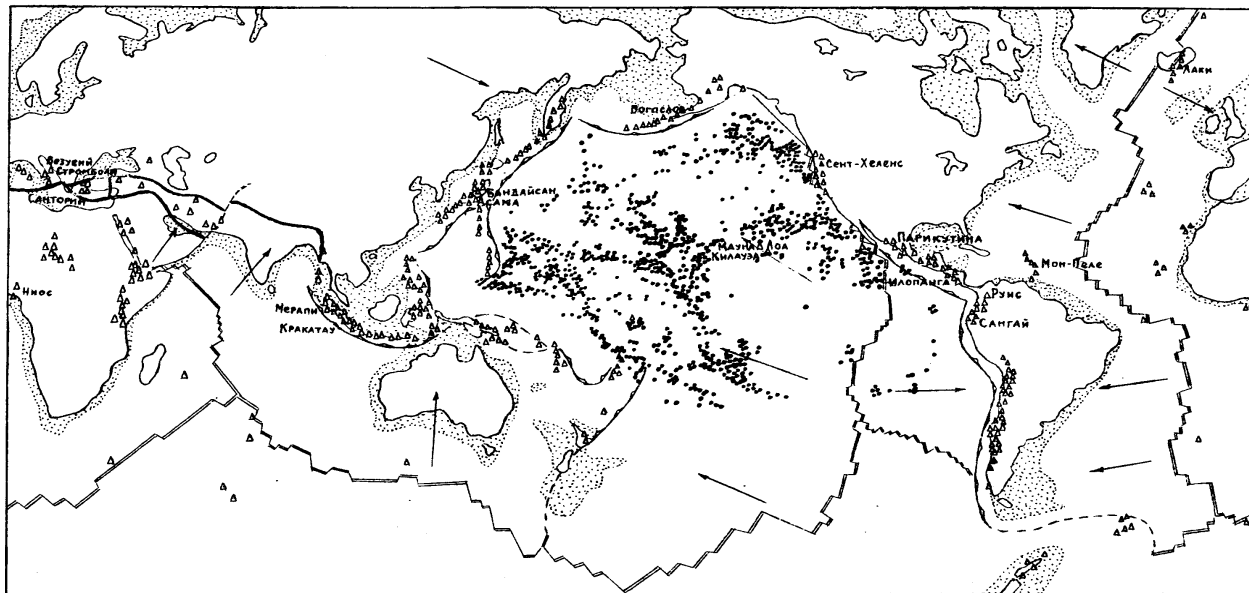


Рис. 1. Схема размещения современных вулканов на Земле: 1 – континентальная кора, окружающая материки в пределах океанических акваторий; 2 – срединно-океанические спрединговые зоны растяжения (двойные линии) и трансформные разломы (одиночные линии) в осевых частях подводных горных хребтов; 3 – зоны субдукций («подныривания») океанических литосферных плит под континентальные; 4 – зоны коллизий (столкновений) литосферных плит; 5 – условные границы литосферных плит (вне зон спрединга, субдукций и коллизий); 6 – направления движения литосферных плит; 7 – континентальные и островные вулканы; 8 – подводные вулканы Тихоокеанской акватории (по Менарду)

тез, казалось, наконец-то уловили саму суть вулканических явлений, вновь убеждались в недостаточности приобретенных знаний.

Иногда активизировались целые вулканические районы. Изучая совокупности вулканов, вулканологи систематически пополняли их кадастр, учитывая самые последние открытия. Число известных вулканов с 1824 по 1966 г. выросло с 225 (Humboldt) до 586 (Влодавец). Когда же этот список, казалось, был исчерпан, обнаружилось, что совершенно не учтенными остались подводные вулканы, примерное число которых, как показали океанические исследования, чуть ли не на порядок выше выявленных на материках.

Для выработки стройной концепции происхождения и сценариев действия вулканов необходима систематизация всех особенностей их поведения на единых научных принципах. В основу таких схем последовательно предлагались вариации петрологических типов вулканических извержений (а, следовательно, и по физико-химическим особенностям); пространственно-территориальные критерии, положение в основных структурах Земли. Выделяются 4 главных позиции концентрации вулканических явлений на нашей планете, 3 из которых соответствуют границам литосферных плит, а одна относится к внутриплитной.

В основе понятия о литосферных плитах лежат данные о различии глубинного строения континентов и океанов. Земная кора в пределах континентов является мощной (40–80 км) и легкой (2,6–2,7 г/см³), отвечающей по этому параметру осадочным породам и гранитам. Кора в пределах океанов, наоборот, маломощна (4–6 км) и плотна (2,9 г/см³), что соответствует основным породам (базальтам), обедненным SiO₂. Между этими контрастными блоками земной коры равновесие достигается за счет изостазии – взаимно уравновешивающего положения легких и тяжелых масс, которые как бы плавают на пластичном подкоровом слое в верхней мантии, подстилающей земную кору. Этот пластичный слой – астеносфера («слабая» сфера) – обуславливает возможность горизонтальных перемещений литосферных плит, к границам которых приурочены основные динамические процессы в земной коре, разрешающиеся в виде механических и тепловых эффектов, в том числе землетрясений и вулканизма. Движущимися пластинами в этих случаях являются литосферные плиты, вертикальный разрез которых определяется совокупностью земной коры и подстилающей части твердой верхней мантии

(до астеносферы). Динамические эффекты литосферных плит определяются их раздвижением вдоль определенных (спрединговых) зон, морфологически отвечающих рифтовым разломам срединноокеанических хребтов; зарождением раздвигов в континентальных условиях (центральноафриканские рифтинговые системы); столкновением плит при встречном движении (коллизия); поддвижением литосферных океанических плит под материковые (зоны субдукций). Это происходит, в частности, вдоль Тихоокеанского кольца – системы побережий, островных вулканических дуг и глубоководных впадин.

Механизм внутриплитного вулканизма принципиально отличен: он обусловлен «прожиганием» земной коры восходящими струями горячих конвекционных потоков, которые мы обычно связываем со струями массо-теплопереноса, образующимися при разогреве жидких сред. Сценарий этот весьма своеобразен: над длительно функционирующей «горячей точкой» – прожигающей конвекционной мантийной струей – скользит литосфера, и вулканы фиксируются как точечные сварочные швы на единой линейной трассе перемещения плиты. В качестве классического примера подобных вулканических цепей обычно приводятся Гавайские острова, возраст однотипных вулканических пород которых омолаживается в северо-западном направлении, от 18 млн лет от о. Френч-Фригит-Мидуэй до менее 0,8 млн лет для о. Гавайи.

Гибель и возрождение цивилизаций. 60% населения Земли заселяют прибрежно-морские районы, включая и те области, которые относятся к вулканическим. Вероятно, так было и в древности, несмотря на то, что время от времени здесь разыгрывались массовые трагедии.

Одно из наиболее древних вулканических событий, ставшее известным нам, в результате которых под лавой были погребены поселения людей, произошло около 11-ти тысячелетий назад в районе Лаахерзе в Нойдидерской котловине бассейна Рейна в Германии. В тропических лесах Южной Америки в отрогах Анд в 700 км от столицы Эквадора Кито археологом Педро Пораса обнаружены останки города на склонах действующего вулкана Сангай, города, который возник около 2780 г. до н.э. Восстановлена гибель крито-минойской цивилизации около 1500 лет до н.э., которая произошла в связи с деятельностью вулкана Санторин на серповидном острове Тира, оставшимся после кальдерного (провального) погружения этого

вулкана. В 1899 г. под вулканическими скоплениями были выявлены и позднее изучены следы древней культуры. Под мощным (30 м) слоем вулканической пемзы был обнаружен хорошо сохранившийся город позднеминойской эпохи.

В долине р. Рио Пас центрально-американской республики Сальвадор находится скопление археологических памятников Чальгуапа, которые включают остатки одного из крупных городов-государств древних майя, насчитывавшего до 30 тыс. чел. В окрестностях вулкана Илопанго пепел и пемза распространены в радиусе 50 км. Самый разрушительный эпизод, связанный с этим вулканом, относится к 260 г. до н.э., когда погиб г. Церен.

Наиболее тщательно изучены обстоятельства гибели Помпеи, Геркуланума и Стабии, произошедшей в 79 г. н.э. Впервые Помпея была случайно обнаружена в XVII в. итальянским инженером-архитектором Доменико Фонтана при прокладке водопровода от р. Сарпо к городку Торре Аннунциата. Это и послужило началом раскопок в 1748 г. испанцем Алькубьерре, в 1764 г. Франческо ля Вега и в 1868 г. Джузеппе Фиорелли.

Внезапное погребение городов под пеплом и пемзой позволило впоследствии археологам зримо восстановить в мельчайших деталях быт и нравы того времени в противоположность древним поселениям, разрушенным другими обстоятельствами. Изобретательный ум Джузеппе Фиорелли, предложившего заливать гипсом пустоты в вулканических образованиях, первыми накрывших город, позволил получить слепки ряда жителей Помпеи, погибших при этом акте трагедии. Эти гипсовые отливки выставлены теперь в музее-антиквариуме: мать с младенцем у груди и двумя девочками, уцепившимися за ее платье; мужчина с козой, у которой на шее звенел бубенчик; богатая молодая матрона на свидании с гладиатором...

Опустошению вокруг вулкана Везувия подверглась местность в радиусе 18 км на площади, превышающей 310 кв. км.

О широте проявления подобных вулканических трагедий свидетельствует гибель индийско-яванского государства Матарам в результате катастрофического взрывного извержения вулкана Мерапи на Яве в 1006 г.; одно из крупнейших вулканических извержений Асама темнейской эпохи Японии в 1783 г. и др.

С рассматриваемых нами позиций, может быть, не столь существенны данные о жертвенности древних цивилизаций, имевших в то

время ограниченные ареалы; важно подчеркнуть возрождение в этих же местах новых поколений населения, даже не подозревавших о происшедших здесь некогда величайших трагедиях далекого прошлого.

Теперь мы знаем, что в Сальвадоре, в районе археологических памятников Чальгуапа, после трагедий 260 гг. до н.э. уже в V в. н.э. местность вновь была достаточно плотно заселена. В стране полей – Кампании, над которой возвышался Везувий, людская жизнь возрождалась неоднократно. А над засыпанным пеплом в 79 г. Геркуланумом спустя полутора-тысячелетие (?) шумели кварталы города Резина. Вновь появились селения у вулкана Мерапи на Яве. И жизнь в этих местах снова набирала силу.

Экология вулканических процессов. Экология подразумевает взаимосвязь, взаимообусловленность, взаимодействие живой и неживой природы. Влияние на живую материю осуществляется посредством окружающей среды, а ее функциональность определяется теми взаимодействиями абиотических компонентов, которые, в свою очередь, оказываются способными решительно изменять среду жизнеобитания.

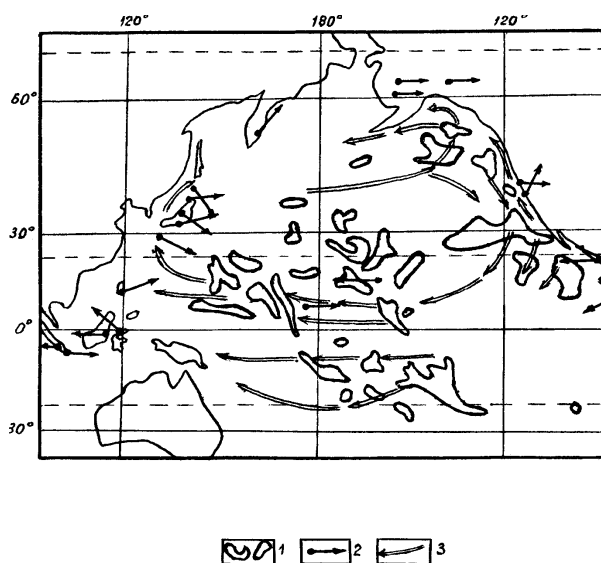


Рис. 2. Схема загрязнения Тихоокеанской акватории вулканическими продуктами:

- 1 – ареалы подводной вулканической деятельности;
- 2 – оси распространения вулканических пеплопадов;
- 3 – океанические течения, переносящие продукты подводных вулканических извержений

Продукты вулканизма служат одним из мощных источников загрязнения океанических вод, причем преимущественно в акватории Тихого океана (рис. 2). Именно на дне этого океана, по подсчетам Менарда (Menard), на-

ходится около 10000 подводных вулканов высотой свыше 1 км, из которых 2000 уже установлены достаточно надежно. Следовательно, огромное количество механического вулканического материала, гидротерм и разнообразных соединений газовой фазы не менее 160 млн лет вносили свою лепту, формируя тот солевой состав океанических вод, который отражает современное состояние. Именно по периферии Тихого океана расположено «Великое огненное кольцо» из вулканов, грубо повторяющее эту крупнейшую субдукционную зону Земли. Ни один другой океан Мира не сравнится в этом отношении с «Великим» и «Тихим» океаном, отделяющим американские материки от азиатского.

Согласно Итону (Eaton), ориентировка продольных осей вулканических пеплопадов совпадает с направлением господствующих геострофических ветров, ориентированных большей частью от суши в сторону океана. И в этом отношении положение этого океана уникально.

Биогеохимиками неоднократно высказывались соображения о вероятном происхождении предорганических соединений в результате наземной вулканической деятельности, которая сопровождалась обилием разнообразных газовых компонентов, способных образовывать подобные молекулы. Но теперь уже несомненно доказано, что у целого ряда подводных вулканических аппаратов в морских пучинах существуют оригинальные органические сообщества в зонах истечения вещества земных недр в виде взвесей «черных» и прочих «курильщиков». И появление здесь органики явно не зависит от реакций фотосинтеза, которым до недавнего времени приписывалась исключительная роль в жизнеобразовании, а обязана реакциям хемосинтезного характера.

Вулканические породы являются благоприятным субстратом для формирования плодородных почв, особенно в соответствующих обстановках низких широт. Это наиболее характерно для пепло-вулканических почв, для которых важными факторами накопления органического углерода и гумуса являются высокая скорость и глубина проникновения процессов выветривания, с широким образованием аморфных масс гидроокислов алюминия, железа и кремнезема и неокристаллизованных минералов группы аллофанов. Их резервы в вулканических пеплах пород основного состава весьма значительны и явно уменьшаются по мере увеличения кислотности исходных вулканических выбросов. Скорость накопления органического углерода, согласно

М.А. Глазовской [1], составляет в слоях 0–100 см $0,006 \text{ кг/м}^2$, 100–200 см – $0,003 \text{ кг/м}^2$ в год. Заслуживает особого внимания утверждение, что скорость подобного накопления наиболее высока в молодых почвах (1–10 тыс. лет) и на порядок ниже для почв возраста от 10 до 150 тыс. лет ($0,0001 \text{ кг/м}^2$ в год). Иначе говоря, относительно свежие вулканические почвы значительно плодородней, чем древние. И стадия их зрелости тем выше, чем влажнее климат этих жарких регионов Земли.

Для поверхностных частей разрезов рыхлых отложений этих мест специфично наличие погребенных гумусовых горизонтов под свежими аэральными пепловыми отложениями, а в пределах их метровых накоплений присутствует несколько (2–3) горизонтов погребенных почв, разделяемых прослоями вулканического пепла. Каждый раз по завершению вулканических извержений растительность в окресте уничтожается, и каждый раз возникает новый сукцессионный цикл, обычно не достигающий климаксовой стадии. А, как известно, омоложенные сукцессии наиболее благоприятны для интродукций олиго- и монокультур, обладающих в этих случаях высокой продуктивностью.

Показательно, что несколько районов развития пеплопочв отвечают очагам происхождения сельскохозяйственных культур на Земле. Так, в Южной Америке имеются три главные зоны распространения действующих вулканов в горных сооружениях Анд (с севера на юг): Колумбийско-Эквадорская, Перу-Боливианская и Аргентино-Чилийская (рис. 3). Здесь продукты извержения их относятся к вулканическим породам средне-основного состава. Вулканические почвы в Андийском поясе распространены от 4° с.ш. до 46° ю.ш. и находятся на абсолютных высотах от уровня моря до 3000–3500 м. С учетом разницы гидротермических условий почвы здесь группируются в пояса: субтропический (с содержанием гумуса от 8–12 до 25–30%) и экваториально-тропические (от 12 до 22–28% гумуса). По мнению Н.И. Вавилова [2], в Южной Америке расположен Андийский флористический центр видообразования с тремя основными очагами: Баготанским (В. Колумбия), собственно Андийским (Перу, Боливия, Эквадор) и Чилоанским (Арауканским), которые хорошо координируются с главными зонами распространения здесь действующих вулканов (рис. 3). Аналогичная ситуация характеризует и Центральную-Американскую вулканическую зону и соответствующий очаг происхождения культурных растений.



Рис. 3. Схема корреляции вулканических зон и очагов происхождения культурных растений в Центральной и Южной Америке:

- 1 – цепи современных вулканов; 2 – вулканические пояса олигоцен-миоценового возраста; 3 – очаги происхождения культурных растений (по В.И. Вавилову): I – Центрально-Американский, II – Баготанский, III – Андийский, IV – Чилоанский (Арауканский)

Н.И. Вавилов обращал внимание на то обстоятельство, что «...основные географические центры начального введения в культуру большинства возделываемых растений связаны не только с флористическими областями, отличающимися богатой флорой, но и с древнейшими цивилизациями... В пределах Нового Света Центрально-Американский центр связан с великой культурой майя, еще до Колумба достигшей огромных успехов в науке и искусстве. Андезийский центр связан с замечательными доинской и инской цивилизациями» [2, с. 394].

Очевидно, что в данной «связке» – вулканизм-плодородие почв-очаги зарождения культивируемых растений-развитие ранних сельскохозяйственных цивилизаций – многое еще недостаточно исследовано. Такие зависимости существуют объективно, не являясь универсальными.

Уместно напомнить высказывание Ю. Одума о том, что «если бы оказалось технически возможным блокировать все вулканы на Земле, то от голода могло бы погибнуть больше людей, чем сейчас страдает от извержений».

Основные проблемы выживания в вулканических областях. Рост населения и распределение жизненно важных ресурсов (территорий, плодородных почв и пр.) заставляют человека научиться жить у вулканов. Современные антропогенные вулканические районы и экосистемы занимают 4,5% территории суши (6,75 кв. км). Людские потери от извержений за 500 лет составили 190–240 тыс. чел. Только в Индонезии сосредоточено 128 активных вулканов, в том числе 66 наиболее опасных. На острове Ява известно 35 действующих вулканов, включая уже упоминавшийся (Гунонг)-Мерапи, к кратеру которого по склонам поднимаются деревни и рисовые поля. Плотность населения на этом острове около 1000 чел. на 1 км², а на соседнем острове Калимантан, где вулканы отсутствуют, она в 1000 раз ниже (!).

Существуют ли какие-либо меры защиты от вулканических извержений и насколько эффективными они являются?

При эксплозивных (взрывных) извержениях чуть ли не единственной возможностью уменьшения ущерба является заблаговременный спуск воды из кратерных озер для понижения их уровня, а также устройство разного рода барьеров по долинам прежних пепловых потоков.

Существуют способы воздействия и на долинские потоки лав. Так, при извержении вулкана Килауэа на Гавайях в 1955 г. на пути текущей реки лавы были устроены насыпные дамбы и валы, позволившие укротить раскаленный поток. При извержении вулкана Мауна-Лоа на Гавайях же дважды бомбили с самолетов боковую часть потока лавы с целью разрушения образующейся здесь при охлаждении расплава твердой корки. Благодаря этому удалось направить поток магмы в боковом направлении. Особенно эффективной оказалась бомбандировка лавового потока Мауна-Лоа, угрожавшего существованию города Хило (1935 г.), когда вначале погасили скорость продвижения лавы с 250 до 14 м/ч, а затем и добились полной остановки потока. А повторный успех этого способа ликвидации угрозы здесь же в 1942 г. убедил, что действенность подобных мер не случайна. При продвижении лавового потока Килауэа в 1960 г. к деревне Канохо пожарник Эдди Бенито высказал идею остановки наступающего фронта лавы поли-

вом ее водой из пожарных брандсбойдов. Предложение было встречено «издевательским хохотом». Но оказалось очень эффективным. А позднее этот опыт был использован для остановки лавового потока в Исландии на острове Хеймаэй при извержении в 1973 г. одноименного вулкана. Однако все это отдельные эпизоды, способные принести успех лишь в исключительных случаях.

Основным же направлением по снижению рисков при вулканических извержениях является научный прогноз поведения каждого вулкана. Он может основываться на детальном анализе сведений по поведению вулкана при предыдущих извержениях, по его своего рода «больничной карте», а, вероятно, и с учетом соответствующих палеовулканических исследований доисторического периода. Так, полтора вековые наблюдения за Мауна-Лоа свидетельствуют о периодическом чередовании извержений то на вершине, то на склонах. Но вот предсказать поведение Везувия по характеру его прошлых извержений не удастся, хотя этот вулкан находится под наблюдением уже более 1900 лет.

В США для целей научного прогнозирования вулканов горной цепи Кордильер в Северной Америке создана прогнозная карта областей вероятного опустошения при выпадении пепла на территории Каскадных гор [3]. В основу прогнозирования были положены масштабы наиболее крупных извержений исторического прошлого для каждого из вулканов этой области, главным из которых являлся вулкан Мезама, наиболее опустошительное извержение которого состоялось в 5000 г. до н.э. Но извержение в 1980 г. Сент-Хеленс из этой группы вулканов по своим масштабам превзошло все прогнозные ожидания: пепел тогда по существу накрыл почти всю страну.

Опорным методом в системе прогнозов должен быть комплексный мониторинг. Основными вариациями его являются геофизические, геодезические и геохимические наблюдения. Из геофизических методов важнейшим является сейсмический надзор за колебаниями земной поверхности с системами перевода колебательных сигналов в радиотелеметрические, что позволяет осуществлять мониторинг за большими территориями. В определенных ситуациях эффективны геомагнитные исследования, в основе которых лежит принцип потери первичной намагниченности при расплавлении пород и переходе через точку Кюри. Перспективен, но слабо разработан гравиметрический метод надзора, основанный на изменении силы

тяжести при фазовых переходах состояния горных пород. Эффективны в ряде случаев термические исследования, включая дистанционные (высотные) съемки поверхности Земли в инфракрасных лучах. Принципиально информативны геоэлектрические методы, поскольку расплавленные породы обладают свойствами проводника электричества.

Геодезические методы предусматривают наблюдения за сетью реперных высотных отметок путем повторного нивелирования, поскольку с предвулканическими эпизодами связано коробление земной коры (с отклонением высотных отметок до 50 м).

При геохимических методах используются разнообразные химико-аналитические данные по отдельным компонентам вулканических газов, определению показателя кислотности-щелочности (pH), количественным соотношениям избранных пар элементов (S/Cl, F/Cl, Cl/CO₂ и т.п.) или изотопов.

Но прогностические оценки и данные мониторинга являются эффективными только в том случае, если надежна система предварительного оповещения населения и организационная структура его эвакуации при соответствующей обстановке. Чрезвычайно показателен в этом отношении пример недавнего пробуждения колумбийского вулкана Невадо дель Руис, спавшего в течение 90 лет. Расположен вулкан в 150 км от столицы страны Боготы и в 72 км от города Армеро. Последний находится вне зон наиболее опасных лавовых и пепловых потоков, но принадлежит ореолу возможного распространения лахаров – селевых грязевых потоков, возникающих во время вулканических извержений за счет таяния снега и льда. Произошло так, что селевой поток, вызванный извержением Руиса, полностью разрушил Армеро, насчитывающий 15 тыс. жителей, почти все они погибли. Одновременно разрушению подверглись небольшие городки Маринита, Чинчина, Гуябаль, Либано, Онда. Общее количество погибших жителей составило 25 тыс. чел., количество пострадавших превысило 200 тыс. чел. Были опустошены 20 тыс. га сельскохозяйственных плантаций.

Самое страшное в этом случае, что не были предприняты организационные меры защиты: не была осуществлена эвакуация населения, хотя сигналы тревоги об этой опасности были поданы за 2 часа до начала извержения. Следовательно, восприятие опасных явлений должно быть обязательно активным. Лишь подготовленность населения к вероятным катастрофам является непременным атрибу-

том жизнедеятельности в подобных регионах. Уж если обстоятельства вынуждают к расселению жителей в опасных районах, должны быть предприняты все меры управления риском от соответствующих катастроф.

Как и любое природное явление, вулканизм характеризуется особенностями, которые включают в себя и благоприятные и неблагоприятные факторы воздействия на обитающих здесь организмы, в том числе на проживающих людей. Вулканы – не только неистовая все разрушающая стихия, но и созидательная сила. Благодаря вулканам наращивается территория суши, обновляется плодородие почв, развиваются новые сообщества растений. Отдельные вулканические районы стали источниками многих культурных растений, которые изначально проявлялись в разрозненных очагах Земли. Вулканы могли являться теми источниками, которые были способны продуцировать предорганические соединения, обеспечившие появление зачатков

жизни на суше, и уже в наше время поддерживают с помощью хемогенеза множественные очаги жизни на придонных участках глубоководных морей.

Рост населения на Земле и благоприятные условия жизни, отвечающие эпохам, заключенным между параксизмальными фазами развития вулканов в этих регионах, заставляют относиться к условиям проживания здесь человека с особым вниманием. Нарушить естественный ход вулканических процессов невозможно, но сделать жизнь в этих условиях более предсказуемой и безопасной человечеству под силу. Для этого нужны достоверные прогнозы опасных явлений, надежная мониторинговая система в вулканических районах Земли, четкая служба оповещения, отлаженная организация проведения запрограммированных экстренных мероприятий и хорошая подготовленность населения к возникновению экстремальных ситуаций. Нужна отработанная система «управления риском».

Литература

1. Глазовская М.А. Пространственно-временные закономерности накопления гумуса в почвенно-пирокластических покровах // Известия РАН. Сер. географическая. 1999. №1.

2. Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений. Л., 1987.

3. Болт Б.А., Хорн У.Л., Макдоналд Г.А., Скотт Р.Р. Геологические стихии. М., 1978.