

### Вулканические извержения 3.2.

Вулканы (от лат. *Вулканус* – огонь, пламя) – геологические образования, возникающие над каналами и трещинами в земной коре, по которым извергаются на земную поверхность из глубинных магматических источников лавы, горячие газы и обломки горных пород.

Основные части вулканического аппарата: магматический очаг (в земной коре или верхней мантии); жерло– выводной канал, по которому магма поднимается к поверхности; конус – возвышенность на поверхности земли из продуктов выброса вулкана; кратер – углубление на поверхности конуса вулкана (рис. 3.4).

Извержение вулкана – это выход на поверхность Земли магмы (от греч. – тесто, паста).

Вулканические извержения бывают длительными (в течение нескольких лет, десятилетий и столетий) и кратковременными (измеряемые часами). К предвестникам извержения вулканов относятся вулканические землетрясения, акустические явления, изменения магнитных свойств и состава газов и другие явления.

Магма – это расплавленное вещество, которое образуется при высоких давлениях и температурах в земной коре и верхней мантии. Она состоит из различных химических соединений, в основном кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) и оксидов некоторых других веществ (алюминия, железа, марганца и др.), находящихся в растворенном состоянии или в виде пузырьков газа.

Извержения вулканов не одинаковы.

Одни происходят относительно спокойно: жидкая магма, достигнув поверхности, изливается на нее лавовыми потоками, распространяющимися на большие расстояния.

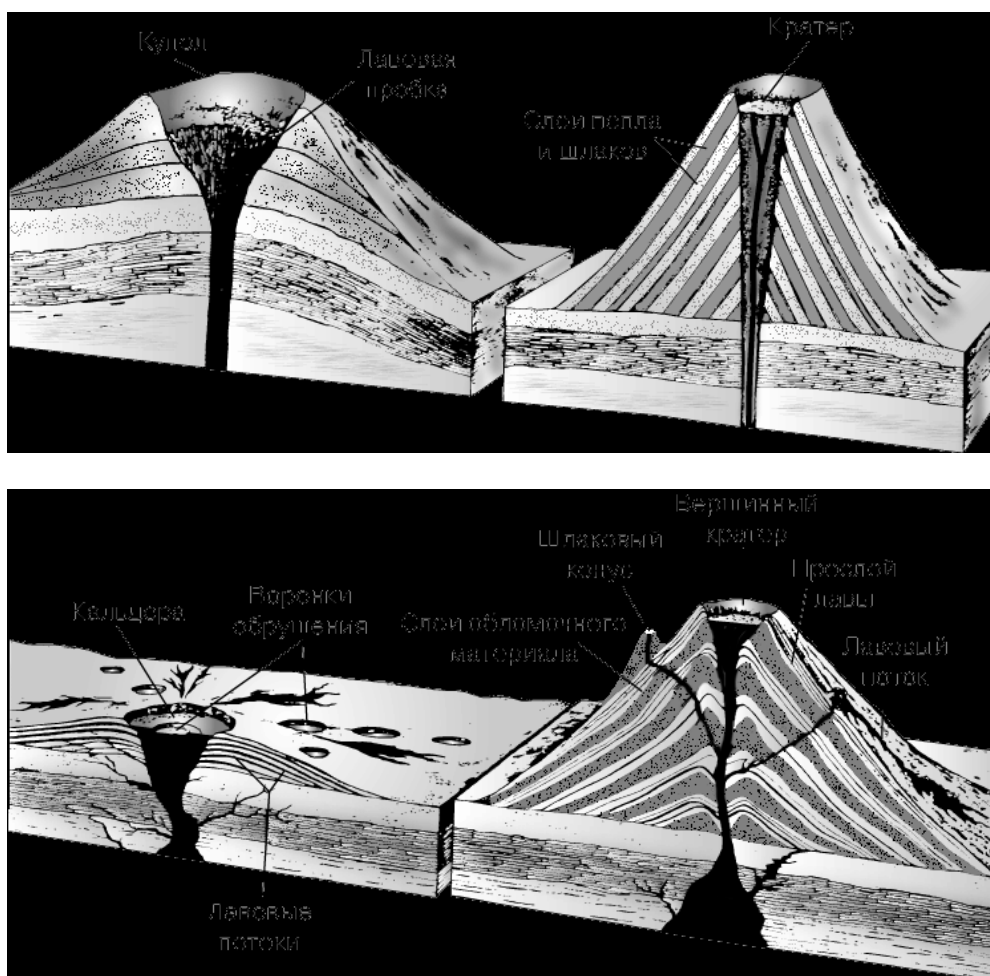


Рис. 3.4. Строение вулкана

Другие, помимо излияния лав, сопровождаются рядом взрывов, происходящих через определенные промежутки времени.

Третьи характеризуются мощнейшим взрывом и отсутствием лавовых потоков. Характер извержения зависит от состояния магмы, ее температуры, состава и содержания газов. Последнее особенно важно. Ведь газы находятся в магме под большим давлением. Поднимаясь к поверхности Земли по так называемому подводящему каналу и попадая в область низкого давления, газы, растворенные в магме, начинают выделяться из нее, переходя в нормальное газообразное состояние и многократно увеличиваясь в объеме. Если выделение газа совершается быстро или даже мгновенно, то происходит мощный взрыв, если же постепенно, то извержение протекает более спокойно. Таким образом, можно сказать, что вулканическое извержение есть процесс «дегазации» магмы. Именно газы, заключенные в магме, служат тем «движителем», который вызывает извержение.

Если газы выделяются из магмы относительно спокойно, то она изливается на поверхность, образуя лавовые потоки. Такое извержение получило название эффузивного (от лат. *effusio* – «излияние»).

Если газы выделяются быстро, происходит мгновенное вскипание магматического расплава, и он разрывается расширяющимися газовыми пузырьками. Происходит мощное взрывное, или эксплозивное, извержение (от лат. *explosio*, фр. *explosion* – «взрыв»). Если магма очень вязкая и ее температура невелика, то она медленно выдавливается, как бы выжимается на поверхность. Такое извержение называется экструзивным (от лат. *extrusio* – «выдавливание»).

Иными словами, способ и скорость отделения газовых компонентов от магмы и определяют три главных типа извержений: эффузивное, эксплозивное и экструзивное. Но, конечно же, причиной вулканической деятельности является, прежде всего, магма. Нет магмы – нет и извержений.

Любая магма, поднимаясь к поверхности, – это сложная система, состоящая из газа, жидкости, и твердых кристаллов минералов. Их соотношение все время изменяется: одни кристаллы, сформировавшиеся ранее, растворяются, вместо них возникают новые; при этом состав магмы также меняется, поскольку и газы, и кристаллы, и сама жидкость стремятся к равновесию между собой. Важную роль играют растворенные в магме вулканические газы.

Вулканические газы, выделяющиеся из магмы до и после извержения, имеют вид белых струй водяного пара. Когда к ним при извержении примешивается тефра (обломки застывшей лавы), выбросы становятся серыми или черными. Газ, выделяющийся из вулканов, на 50-85% состоит из водяного пара. Свыше 10% приходится на долю углекислого газа, около 5% составляет сернистый газ, 25% - хлористый водород и 0,02 – 0,05% - фтористый водород. Сероводород и газообразная сера обычно содержатся в малых количествах.

Когда газов в расплаве мало, говорят, что магма «сухая». Она застывает при более высокой температуре, нежели магма, содержащая много газов. Кристаллизация магмы по пути наверх, т. е. превращение ее в горную породу, происходит постепенно. Сначала при понижении температуры появляются первые кристаллы, которые существуют одновременно с жидкостью, т. е. расплавом, и как бы плавают в нем. Дальнейшее охлаждение приводит к появлению новых кристаллов, находящихся в окружении оставшегося расплава. Расплав, в конце концов, застывает, кристаллизуясь полностью, и тогда уже возникает твердая горная порода.

Жидкие вулканические продукты – это, прежде всего, сама магма, изливающаяся в виде лавы. Форма, размеры, особенности внутреннего и внешнего строения лавовых потоков зависят от характера магмы. Шире всего распространены потоки базальтовых лав. Первоначально нагретые до 1000–1200°C базальтовые лавы сохраняют текучесть даже при 700°C. Базальтовые «реки» текут со скоростью до 40–50 км/ч. Выходя на ровное место, они растекаются на обширной площади.

Лава на воздухе начинает остывать, и покрывается тонкой корочкой. При дальнейшем движении потока она сморщивается и окончательно затвердевает, напоминая лежащие толстые канаты. Поэтому такая лава называется «канатной». Горячая лава иногда полностью вытекает из-под застывшей корки и тогда под ней возникает своеобразный туннель с сосульками застывшей лавы, свисающими с «потолка». Если лавовый поток течет медленно, то корка на нем застывает быстрее и становится толще. Под собственной тяжестью она часто неоднократно ломается и вновь застывает. На поверхности потока, в конце концов, образуется хаотическое скопление угловатых обломков различного размера, носящих гавайское название «аа». Лавовые потоки типа «аа» распространены очень широко и характерны не только для базальтов, но и для андезитов.

При соприкосновении с водой лава остывает очень быстро, превращаясь в стекловатую породу (напоминающую стекло), потому что расплав, затвердев, не успевает раскристаллизоваться, т.е. в нем не сформировались многочисленные кристаллы минералов. Когда базальтовые лавы изливаются на большой глубине в океане, то они, как правило, выдавливаются из трещин, образуя гигантские «валики», напоминающие подушки, которые так и называются – «пиллоу» – лавы (от англ. *pillow* – «подушка»).

Если лава вязкая и температура ее сравнительно невысокая, что характерно для магмы, содержащей много кремнезема (более 65%), то лавовые потоки короче – несколько километров, а их поверхность покрывается более мощной глыбовой корочкой типа «аа». Глыбы, перемещаясь с потоком, обрушиваются с его крутого переднего края и перекрываются самим потоком, напозающим на них. Поэтому в поперечном разрезе такая застывшая лава представляет собой монолитную горную породу, окаймленную сверху и снизу скоплением глыб-брекчий – сцементированных горных пород, сложенных угловатыми обломками размером 1 см и более. В средней же, внутренней части застывшего лавового потока, нередко образуются шестигранные или пятигранные столбы. Они возникают в результате охлаждения и последующего растрескивания потока лавы, причем, всегда располагаются перпендикулярно той поверхности, на которую излился лавовый поток. Такие «колоннады» выглядят исключительно эффектно. Их можно увидеть на Большом Кавказе в лавовых потоках, спускающихся по склонам Казбека, в обрывах близ селения Гудаури, в долине реки Арагви, на Военно-Грузинской дороге южнее Крестового перевала, на южном склоне Эльбруса.

Твердые вулканические продукты выбрасываются на землю из жерла вулкана при мощных взрывных извержениях.

Наиболее распространены вулканические бомбы – обломки длиной более 7 см. При выбросе из жерла они еще находились в расплавленном состоянии, но, пролетев сотни метров, остывали в воздухе и падали на склоны вулкана уже сильно отвердевшими. Форма этих бомб разнообразна. Они бывают похожи на куски плоской или закрученной ленты, на крупные «капли», которые, вращаясь в воздухе, приобретают веретенообразную форму. Встречаются округлые бомбы с поверхностью, напоминающей корку свежеепеченного хлеба (бомбы типа «хлебной корки»), а также пористые куски лавы типа шлаков. Еще не остывшие куски магмы, падая на склоны вулкана, сплющиваются, а потому называются бомбами типа «коровьих лепёшек». Иногда выбрасываются и крупные глыбы – длиной более 1 м.

Вулканические обломки меньше 7 см называют лапилли (от лат. *lapillus* – «шарик», «маленький камень»). Очень интересны капли базальтового расплава, застывшие в воздухе в виде причудливых маленьких (не более 1–2 см) черных стекловатых полумесяцев, груш и других фигур. В честь гавайской богини вулканов они называются «слезами Пеле», а тонкие нити из стекловатой лавы получили наименование «волосы Пеле».

Вулканические частицы размером менее 2 мм называются пеплом. Но этот пепел не продукт сгорания. Он похож на скопление пыли. Под микроскопом при большом увеличении видно, что пепловые частицы – это осколки вулканического стекла в виде

рогулек и треугольников. Они представляют собой мгновенно застывшие при взрывном извержении тоненькие перегородки из магмы между расширяющимися газовыми пузырьками. Будучи выброшенными вверх, они потом упадут на землю в виде стекловатого пепла. Иногда пепел возникает при сильном дроблении более древних вулканических пород; в других случаях он может состоять только из обломочков кристаллов. Наиболее распространен стекловатый пепел. При извержении Везувия пепел, лапилли и вулканические бомбы погребли Помпеи и Стабию.

Мощные извержения выбрасывают мелкий пепел в верхние слои атмосферы, где он может находиться очень долго. Так было, например, при взрыве вулкана Кракатау в Зондском архипелаге (Индонезия) в 1883 году. Частицы пепла, выброшенные в стратосферу на высоту до 40 километров, 3 раза обогнули земной шар. Именно ему обязаны своим появлением серебристые облака на закате, наблюдавшиеся много лет спустя после этого извержения в различных странах мира.

В истории извержений известны мощные пеплопады. В июне 1912 года после катастрофического взрыва вулкана Катмай на Аляске 2 дня падал тончайший стекловатый пепел. Он покрыл слоем толщиной 25 см остров Кадьяк и другие острова. Жители были вынуждены эвакуироваться. Последние взрывы вулкана Пинатуба на Филиппинах в 1992 году сопровождались катастрофическим пеплопадом, который вынудил американцев эвакуировать свои военные базы. Мощное извержение вулкана Ключевская Сопка на Камчатке в сентябре 1994 года подняло массы пепла на высоту 10–20 километров, что затруднило полеты самолетов. Эксплозивные (взрывные) извержения, сопровождающиеся пеплопадами, способны влиять на климат Земли. Так, извержение трещинного вулкана Лаки в Исландии в 1783 г. выбросило в верхние слои атмосферы столько пепла, что в течение следующего года температура воздуха упала на 1–2°C, и в Северном полушарии резко похолодало. Слои пепла, залегающие в древних отложениях, свидетельствуют об извержениях, происходивших сотни тысяч и миллионы лет назад, и помогают геологам восстановить историю вулканической деятельности. Еще в 1911 году под Воронежем в отложениях, возраст которых около 1 миллион лет, были обнаружены слои пепла толщиной почти 1 метр. Ближайшие вулканы, действовавшие в это время, находились либо на Кавказе, либо в Италии – на расстоянии не менее 1–2 тысячи километров.

Вулканы подразделяются на действующие, уснувшие и потухшие.

К действующим относятся вулканы: извергающиеся в настоящее время постоянно или периодически.

К уснувшим относят вулканы, об извержениях которых нет сведений, но они сохранили свою форму и под ними происходят локальные землетрясения.

К потухшим относят сильно разрушенные и размывые вулканы без каких-либо проявлений вулканической активности.

Классификация вулканов производится по условиям их возникновения и по характеру вулканической деятельности.

По условиям их возникновения четыре типа вулканов.

Первый тип – вулканы в зонах субдукции. Верхние слои Земли ведут себя как твердые, пригнанные друг к другу плиты, которые сидят на теле Земли и имеют возможность перемещаться: раздвигаться, сдвигаться или скользить одна относительно другой. Существует смесь главных плит, которые идут вдоль срединно-океанических хребтов, пересекающих почти каждый из океанов, и по активным краям континентов, совпадая с поясами сейсмической активности. У срединно-океанических хребтов силами, возникающими за счет тепловой конвекции, плиты раздвигаются, и на их границах накапливается лава, которую приносят восходящие конвекционные потоки. При этом океаническое дно затягивается вниз, образуя подводную впадину, а континентальный материал, состоящий из более легких пород, не погружается, а надвигается поверху на океаническую плиту. Образуется зона субдукции или зона подвига океанической плиты под материковую. Накопленная на границах материковых плит магма устремляется к

земной поверхности, что приводит к вулканическим извержениям и образованию вулканов.

Второй тип – вулканы в рифтовых зонах, – зонах, возникающих в связи с ослаблением земной коры и выпучиванием границы между корой и мантией Земли. Рифтовые зоны образуются в срединно-океанических хребтах. К характерным рифтовым зонам относятся Восточно-Африканская рифтовая долина, Исландия, часть Азорских островов и ряд других островов Атлантического океана. Образование вулканов в этих зонах связано с тектоническими явлениями, происходящими при выпучивании коры Земли.

Третий тип – вулканы в зонах крупных разломов. Во многих местах земной коры имеются разрывы. Когда породы по обе стороны от разрыва смещены настолько, что отдельные ее слои не соответствуют друг другу, разрыв земной коры переходит в разлом. Такие разломы могут возникать как на материках, так и на дне океанов. В районах разломов происходит медленное накопление тектонических сил, которые могут превратиться во внезапный сейсмический взрыв с вулканическими проявлениями. К этой группе относятся вулканы Центральной Америки, Карибского бассейна, большей части Азорских, Канарских островов и островов Зеленого Мыса.

Четвертый тип – вулканы зон «горячих точек». В отдельных областях под океаническим дном в земной коре образуются «горячие точки», где сосредоточивается особенно высокая тепловая энергия (например, из-за высокой концентрации радиоактивных веществ). В этих зонах горные породы расплавляются и в виде базальтовой лавы выходят на поверхность океанического дна, в результате чего наблюдаются вулканические проявления.

По типу вулканической деятельности выделяют пять основных типов извержения вулканов, приведенных в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Основные типы извержения вулканов

| <b>Тип вулкана</b> | <b>Основные признаки извержения</b>   |
|--------------------|---|
| Гавайский          | Жидкая базальтовая лава медленно вытекает по трещинам земной коры. Образуются мощные базальтовые покровы  |
| Стромболианский    | Вулкан, образуемый последовательными напластованиями тефры. Лава выбрасывается в виде шлаков газовыми взрывами. Чередование большей и меньшей активности  |
| Вулканский         | Вулкан с центральным куполом. Вязкие лавы забивают подводный канал. Время от времени происходит прорыв кратера давлением газов. Осуществляется извержение и выброс тефры. После эксплозии лава вытекает спокойно  |
| Плинианский        | Из глубоко расположенного магматического очага на земную поверхность изливается лава, насыщенная газами. Сильными эксплозиями она выбрасывается в атмосферу на высоту нескольких километров и выпадает в виде пепла. Активность эпизодическая, наблюдаются долгие периоды покоя |
| Пелейский          | Очень вязкая лава забивает подводный канал и образует вулканический столб. К подножию вулкана сваливается палящая туча  |

В связи с вулканической деятельностью нельзя не отметить такие явления, как горячие (термальные) источники и гейзеры. Минеральные и пресные горячие источники распространены в областях современного или совсем недавнего вулканизма, например в Исландии, Италии, на Гавайских островах, Кавказе, Камчатке и во многих других районах. Атмосферные воды, проникая в глубину, нагреваются внутренним теплом вулкана, смешиваются с вулканическими газами и выходят на поверхность в виде минеральных источников. Вокруг таких источников возникают причудливые наросты

кремниевого или известкового туфа – так называемые травертины. Так, на склоне горы Машук у города Пятигорска, в районе Кавказских Минеральных Вод, существуют травертины, обволакивающие листья растений и кости древних животных, так как минеральные источники изливались там не одну сотню тысяч лет.

#### Основные действующие вулканы и исторический обзор извержений.

За период с 1901 по 1985 г. на Камчатке и Курильских островах произошло 244 извержения, причем на долю Камчатки приходится 80% всех извержений. В отдельные годы в районе Камчатки и Курильских островов могут находиться в состоянии извержения от 1 до 7 вулканов. В Курило-Камчатской островодужной системе насчитывается 69 действующих вулканов или 10% от общего числа действующих наземных вулканов мира. Самые крупные и мощные вулканы Курило-Камчатского островной дуги расположены на Камчатке. Полуостров Камчатка – северное звено Курило-Камчатской островной дуги, длина которой составляет более 2000 км. В настоящее время на Камчатке сосредоточено 29 действующих вулканов. В четвертичное время на Камчатке образовались два вулканических пояса, которые значительно различаются между собой. Один из них приурочен к Восточной Камчатке, другой – к Срединному хребту Камчатки. Подавляющее большинство действующих и потенциально активных вулканов Камчатки расположено в Восточном вулканическом поясе.

Срединно-Камчатский вулканический пояс располагается в центральной и северной части Срединного хребта. Общая протяженность пояса свыше 450 км. В его пределах проявился интенсивный четвертичный вулканизм. Активная вулканическая деятельность прекратилась здесь несколько сот лет назад. В настоящее время лишь на одном Ичинском вулкане периодически отмечается слабая сольфатарная деятельность.

Восточно-Камчатский вулканический пояс. Здесь сосредоточено 80% всех действующих вулканов, которые характеризуются заметным различием своего развития на южном и северном участках. На южном участке пояса длиной 170 км – от мыса Лопатка до широты Авачинской губы – сосредоточено восемь действующих вулканов: Кошелева, Ильинский, Камбальный, Желтовский, Ксудач, Мутновский, Горелый, Опала. В центральном участке Восточно-Камчатского пояса сосредоточено 14 действующих вулканов: Авачинский, Корякский, Дзедзурский, Жупановский, Карымский, Малый Семячик, Большой Семячик, Кихпинич, Узон, Крашенинникова, Кроноцкий, Гамчен, Комарова, Кизимен. На севере Восточно-Камчатского вулканического пояса можно выделить в самостоятельную вулканическую зону Ключевскую группу вулканов вместе с гигантским массивом вулкана Шивелуч. Это один из крупнейших вулканических центров мира, в котором извергается более половины продуктов всех вулканов Камчатки и Курильских островов. В эту группу входят действующие вулканы: Ключевской, Плоский Толбачик, Безымянный и Шивелуч. На вулкане Ушковском (Дальняя Плоская сопка) наблюдается эпизодическая фумарольная активность еще с 1890 г., поэтому он и отнесен к действующим вулканам этой группы.

*Вулкан Ключевской* (Ключевская сопка) – один из самых активных и мощных базальтовых вулканов мира и главный вулкан Курило-Камчатской вулканической области, располагается на стыке Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг.

Наблюдения за вулканами Ключевской группы ведутся с 01.09.1935 года, когда в поселке Ключи была открыта Камчатская вулканологическая станция. Пароксизмальные извержения для Ключевского вулкана редки. Мощное извержение происходило в декабре 1944 – январе 1945 годов. После пароксизма 1944–1945 гг. эксплозивно-эффузивные извержения происходили в 1950, 1961–1962, 1966, 1978–1980, 1984–1987 гг., пароксизмальное извержение 1992 г. и пароксизмальное вершинное эффузивно-эксплозивное извержение 7 сентября – 2 октября 1994 г., которое может быть сопоставимо с терминальным извержением 1944–1945 гг.

*Вулкан Безымянный.* В современном цикле активности выделяются три периода: 1956–1965 гг. – непрерывное выжимание жестких блоков купола, сопровождавшееся

эксплозивной активностью; 1966–1976 гг. – выжимание жестких блоков, обелисков, небольших порций пластичной лавы в виде даек (образуются путём внедрения магмы в трещины земной коры), лавовых вздутий; новый этап начался с 1977 г., когда впервые стала изливаться лава. За период с 1980 по 1984 г. произошло семь извержений, сопровождавшихся образованием раскаленных каменных лавин, пирокластических и лавовых потоков. Наиболее значительным был пароксизм 13–14 октября 1984 г., когда высота эруптивной тучи достигала 9 км.

В конце июня 1985 г. часть вершины и восточного сектора экстрезивного купола были разрушены направленным взрывом с образованием пирокластического потока длиной до 14 км. Это было крупнейшее извержение после направленного взрыва 1956 г. 6–8 октября 1995 г. произошло сильное извержение вулкана Безымянный, пепловая туча поднялась на высоту до 5 км, а в г. Ключи наблюдался сильный пеплопад; солнце с трудом пробивалось сквозь пепловую тучу и за несколько часов выпало около  $700\text{г}/\text{м}^2$  пепла.

*Вулкан Плоский Толбачик* (Толбачинская сопка, Толбачик). Деятельность вулкана проявилась в виде терминальных и относительно редких побочных извержений. 6 июля 1975 г. в 18 км южнее вулкана Плоский Толбачик началось извержение, сила и размеры которого оказались таковы, что уже через несколько месяцев оно было названо Большим трещинным Толбачинским извержением. Оно длилось более полутора лет, в ходе извержения появились четыре новых моногенных вулкана – шлаковые конуса высотой до 340 м, эруптивная туча поднималась на высоту более 13 км; текли базальтовые реки со скоростью до  $2,0\text{ см}/\text{с}$ , у истоков образовались лавовые покровы площадью около  $40\text{ км}^2$  и мощностью до 80 м. Суммарный объем изверженных лав, бомб и пепла оценивается в  $2,17\text{ км}^3$ .

*Вулкан Шивелуч*. Самый северный действующий вулкан Камчатки расположен в северной части Центрально-Камчатской депрессии. Для последних 10 тыс. лет и исторического времени (XIX–XX вв.) для вулкана характерны два типа извержений: катастрофические эксплозивные, – типа направленных взрывов (1854 г., 1964 г.), и субвертикальные с близким к вертикальному выбросом пирокластики, а также слабые и умеренные по силе извержения, сопровождавшие рост экстрезивных куполов (1944–1950 гг., 1980–1981 г., 1993 г.). Последнее сильное извержение вулкана Шивелуч произошло в 1993 г.

На Курильских островах находится 37 действующих вулканов.

Вулканы Северных Курильских островов: Алаид (о. Алаид – Атласова), Эбеко, Чикурачки, Татаринова, Карпинского, Фусса (все на о. Парамушир), наиболее активными являются Алаид, Эбеко, Чикурачки.

Вулканы северной части Центральных Курильских островов: Немо, Креницын (о. Онекотан), Севергина (о. Харимкотан), Синарка, Кунтоминтар (о. Шашкотан), Экарма (о. Экарма), Чиринкотан (о. Чиринкотан), наиболее активными и проявлявшими активность являются вулканы Севергина, Синарка и Чиринкотан.

Вулканы южной части Центральных Курильских островов: Райкоке (о. Райкоке), Сарычева (о. Матуа), Расшуа (о. Расшуа), Ушишир (о. Ушишир), Палласа (о. Кетой), Прево, Заварицкого, Горящая сопка – Уратман (о. Симушир), Черного, Сноу (о. Чирпой), Брат Чирпоев (о. Брат Чирпоев), из которых активными или проявлявшими активность являются вулканы Райкоке, Пик Сарычева, Сноу.

Вулканы Южных Курильских островов: Трезубец, Берга, Колокол (о. Уруп), Кудрявый, Чирип, Баранского, Тебенькова, Иван Грозный, Стокан, Атсонупури (о. Итуруп), Тятя, Менделеева, Головнина (о. Кунашир), наиболее активными или проявлявшими активность в историческое время здесь являются вулканы Кудрявый и Тятя.

Масса извергнутых продуктов всех наземных вулканов мира в 1900–1984 гг. составила  $125\cdot 10^9\text{ т}$  и из них  $20\cdot 10^9$ , или 16,5%, извергнуто вулканами Камчатки и Курил.

### **Прогноз вулканических извержений.**

Катастрофические извержения вулканов сопровождаются большими жертвами среди населения. При извержении вулкана Тамбора в Индонезии в 1815 г. погибло от 60 тысяч до 90 тысяч человек. Взрыв вулкана Кракатау в 1883 году стал причиной смерти 40 тысяч человек. От палящих туч, образовавшихся при извержении вулкана Ламингтон на Новой Гвинее, погибло около 4 тысяч человек. Предвестником извержения являются вулканические землетрясения, которые связаны с пульсацией магмы, продвигающейся вверх по подводящему каналу. Специальные приборы – наклонометры – регистрируют изменение наклона земной поверхности вблизи вулканов. Перед извержением меняются местное магнитное поле и состав вулканических газов, выделяющихся из фумарол. На Камчатке уже в 1955 г. было предсказано извержение вулкана Безымянный, в 1964 г. – вулкан Шивелуч, затем – Толбачикских вулканов.

На вулканических территориях действует ряд вулканических станций. Как и для землетрясений, составляются карты вулканической опасности (риска). Подробная карта такого рода составлена для Камчатки в РФ, для Гавайских островов и района Каскадных гор в США. В Российской Федерации непосредственное наблюдение за вулканами осуществляется институтом вулканологии Дальневосточного отделения АН РФ.

Прогноз извержений основан на двух группах методов. Первые основаны на изучении жизни самого вулкана: отдельные вулканы извергаются с определенными интервалами времени, другие свое пробуждение знаменуют звуковыми эффектами; знание вулканов может помочь в предупреждении извержений. Другую группу методов составляют сложные статистические вычисления и исследования признаков готовящегося извержения с помощью точных приборов. Вокруг опасных вулканов размещают, как правило, сейсмические станции, регистрирующие толчки. Когда лава расширяется на глубине, заполняя трещины, это вызывает сотрясение земной поверхности. Землетрясения с очагами под вулканами являются, таким образом, надежным признаком готовящегося извержения.

Надежным является метод прогноза вулканических извержений на основе измерения изменений наклонов земной поверхности вблизи вулкана. Изменение наклона показывает, что готовится извержение. По скорости нарастания изменений можно вычислить примерное время извержения.

Новый метод прогноза извержений представляет собой аэрофотографирование вулканов в инфракрасных лучах, и позволяет определить нагревание земной поверхности и подъем горячих расплавов.

Поведение воды в кратере также может служить надежным показателем готовящегося извержения. Иногда температура воды повышается до кипения, иногда она перед извержением меняет свой цвет (становится бурой или красноватой). Перед извержением часто увеличивается концентрация серосодержащих газов и паров хлористоводородной кислоты, в то время как проценты водяных паров уменьшаются и повышается отношение S/Cl.

Может оправдать себя и метод изучения изменения магнитного поля: на Камчатке в 1966 году за 12 часов до извержения напряженность магнитного поля ослабевала, а за несколько месяцев до извержения менялась и его ориентация.

Успешный прогноз вулканических извержений может значительно уменьшить вулканический риск для населения городов Петропавловск- Камчатский, Елизово, Ключи, Северо-Курильск и других населенных пунктов, а также для пассажиров сотен международных авиарейсов, ежедневно совершаемых вдоль восточного побережья Камчатки.

С практической точки зрения выделяются краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные прогнозы вулканической деятельности.

Краткосрочный прогноз – наиболее точный. Вывод о времени предстоящего извержения делают на основе совокупности результатов всех методов. Физической основой прогноза



является постепенное и непрерывное возрастание давления в магматическом очаге и выводном канале вулкана перед извержением. Возрастание давления в выводном канале вызывает напряжения и упругие деформации в окружающих его твердых породах, изменение их физических свойств, что отражается в физическом поле в районе вулкана. Установления закономерностей связи изменений физического поля вулкана с его деятельностью и непрерывные наблюдения за этими изменениями и составляют суть краткосрочного прогноза извержений. К характерным явлениям, предвещающим извержения, относятся: деформации земной поверхности, вулканические землетрясения (рис. 3.5); изменения гравитационного, магнитного и электрического полей в окрестностях вулкана; разогрев вулкана; изменение температуры и химического состава фумарольных газов и вод горячих источников. Наиболее перспективными считаются методы, основанные на наблюдениях за вулканическими землетрясениями, за деформациями земной поверхности и за газогидрохимическими явлениями на вулканах. Начиная с 1980-х годов, на Камчатке развиваются также аэрофотограмметрические методы прогноза вулканических извержений.

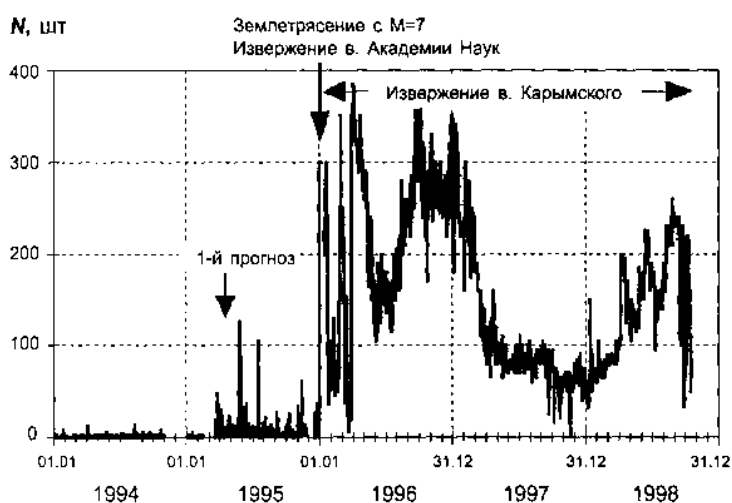


Рис. 3.5. Ежесуточное количество землетрясений  $N$  на сейсмостанции «Карымская» в 1994–1998 гг.

Долгосрочный прогноз может быть выполнен с достаточной точностью лишь для тех вулканов, в деятельности которых существует периодичность. Для остальных вулканов этот прогноз не является точным, а лишь позволяет установить причинно-следственные связи в тектонической деятельности в каком-либо определенном районе. На основе подобных расчетов можно получить вероятностные характеристики, которые являются важными данными для краткосрочного и среднесрочного прогноза.

Среднесрочный прогноз является достаточно точным для вулканов с определенной периодичностью активности. Для других вулканов он позволяет лишь сделать вывод о том, что в определенном месте готовится извержение. Для прогнозов используются методы, основанные на показаниях сейсмографов, установленных вблизи вулкана, приборов, измеряющих изменение наклона земной поверхности, постоянных аэрофотографических наблюдений.

#### Грязевой вулканизм.

Грязевой вулканизм занимает скромное место среди опасных, и тем более катастрофических явлений. Действие его локально и не связано с каким-либо серьезным ущербом, наносимым окружающей среде. Тем не менее, изучение этого явления в контексте природных опасностей представляет большой интерес, поскольку пространственное распределение грязевых вулканов имеет четкую приуроченность к тектонически-активным областям, где они занимают определенное положение (рис. 3.6).

Эти же области характеризуются повышенной сейсмической опасностью (рис. 3.7). Кроме того, грязевые вулканы являются индикаторами потенциальной нефтегазоносности территории, что служит стимулом для детального изучения состава газов и воды, непременных компонентов сопочной брекчии, а также условий и механизма формирования самого процесса извержения. Грязевые вулканы, являясь, по сравнению с «настоящими» магматическими вулканами, более поверхностными образованиями, позволяют изучать особенности истинных вулканических извержений.

В глобальном распределении областей развития грязевых вулканов обнаруживается их четкая тектоническая приуроченность. Во всех случаях явления грязевого вулканизма возникают в передовых и межгорных прогибах, вблизи молодых орогенов, в районах относительно слабо расчлененного предгорного рельефа, где накопились мощные (сотни и тысячи метров) толщи преимущественно глинистых пород. Обычно это формация, которую принято относить к нижней молассе.



Рис. 3.6. Районы развития грязевых вулканов, связанных с углеводородными скоплениями в глубокозалегающих слоях:

1 – Северная Италия; 2 – о-в Сицилия; 3 – Албания; 4 – Румыния; 5 – Керченский и Таманский п-ова; 6 – Восточная Грузия; 7 – юго-восточное погружение Большого Кавказа; 8 – Южный Каспий; 9 – Юго-Западная Туркмения; 10 – Горганская равнина (Иран); 11 – Макранское побережье (Иран и Пакистан); 12 – Белуджистан; 13 – провинция Пенджаб; 14 – Джунгария (КНР); 15 – Ассамская область (Индия); 16 – Бирма; 17 – Андаманские и Никобарские о-ва; 18 – Южный Сахалин; 19 – о. Хоккайдо; 20 – о. Тайвань; 21 – о. Суматра; 22 – о. Ява; 23 – о. Калимантан; 24 – о. Сулавеси; 25 – о. Тимор; 26 – о. Новая Гвинея; 27 – Новая Зеландия; 28 – Мексика; 29 – Эквадор; 30 – Колумбия; 31 – Венесуэла; 32 – о. Тринидад

Районы и области развития грязевого вулканизма приурочены к современным подвижным поясам – Альпийско-Гималайскому и Тихоокеанскому, хотя и проявляются здесь отдельными дискретными пятнами. Издавна известны грязевые сопки Керченско-Таманской области, где они приурочены к южному краю Индоло-Кубанского прогиба и осложняют северо-западное погружение мегаантиклинория Большого Кавказа. Широким развитием пользуются грязевые вулканы на юго-восточном погружении, занимая Апшеронский полуостров, а также прилежащий к орогенному поднятию край Кусаро-Дивичинского прогиба; с юга от орогенного поднятия они располагаются на севере Нижне-Куринской впадины, в Шемахино-Гобустанском районе, а также западнее в пределах Средне-Куринской впадины, в междуречье Куры и Йори. Явления грязевого вулканизма продолжают и в акватории Каспия, вдоль Апшероно-Красноводского порога, переходя дальше на восток в Туркмению, и на меридионально вытянутом Бакинском архипелаге, вдоль западного ограничения Южно-Каспийской впадины.

Явления грязевого вулканизма имеют широкое, хотя и неравномерное распространение по пространству современных подвижных поясов Земли. Подавляющее

большинство известных грязевых вулканов (более 50%) сосредоточено в Кавказском регионе – в Азербайджане и Керченско-Таманской области – в регионе Южного Каспия.

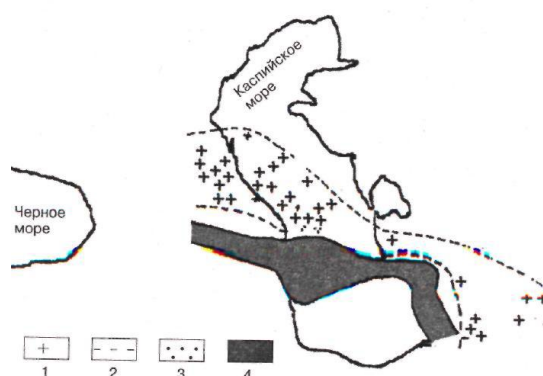


Рис. 3.7. Схема распространения грязевого вулканизма и сейсмичности в Каспийском регионе: 1 – эпицентры землетрясений; 2 – границы сейсмоактивной зоны; 3 – грязевые вулканы; 4 – зона проявления грязевого вулканизма

Грязевые вулканы представляют обычно сравнительно небольшие пологие сопки, возвышающиеся над местностью на несколько метров – 2–3, но иногда высота их достигает 50–60 метров. Конус грязевой сопки сложен продуктами ее извержения, сопочной брекчией, в которых удается различить отдельные потоки. На вершине расположен кратер (один или несколько) от полуметра до 2–3 метров в диаметре. В некоторых случаях грязевой вулкан не образует возвышения в рельефе, а представляет собой поле высохшей грязи, становящейся зыбкой и жидкой по мере приближения к жерлу – грифону. В своем поверхностном выражении грязевые сопки демонстрируют большое разнообразие видов и являются моделями «настоящих» магматических вулканов. По характеру извержений и консистенции выбрасываемой грязи различают «густые» и «жидкие» сопки. «Густые» образуют той или иной высоты конус и извержения их характеризуются более или менее регулярной периодичностью, которая может составлять от 2–3 до 6–8 лет. В периоды покоя сопочная брекчия высыхает и может закупоривать жерло, но при этом может продолжаться слабое выделение газов по трещинам. При следующем извержении образовавшаяся пробка взламывается взрывным образом, а вырвавшаяся вместе с разжиженной грязью струя газа иногда самовозгорается. Бурная стадия извержения продолжается несколько минут, хотя более спокойное излияние грязи может продолжаться несколько суток. В «жидких» сопках извержения происходят более спокойно, как излияния из переполняющегося сосуда. В периоды же покоя таких сопки в кратере происходит пульсирующее выделение газовых пузырей. На плоских полях сопочной брекчии также можно наблюдать непрерывно пульсирующие грифоны. Такие сопки всегда находятся в активном состоянии.

По составу продуктов извержения грязевые вулканы обнаруживают связи с нефтяными и газонефтяными залежами и могут служить индикаторами потенциальной нефтегазоносности территории. В составе газов преобладающую роль играет метан, в то же время наблюдается небольшое количество углекислоты и сернистых газов. Сопочные воды являются, в основном, хлоридно-гидрокарбонатно-натриевыми и близки к типичным нефтяным водам. То обстоятельство, что грязевые сопки распространены в нефтяных и газовых районах, позволяет заключить, что сходство нефтяных и сопочных вод свидетельствует об их генетическом родстве. Грязевые вулканы обладают одним важным преимуществом по сравнению с остальными нефтегазопоявлениями – это их закономерная связь с диапировыми складками, которые представляют собой благоприятный объект для образования нефтяных и газовых залежей. Поэтому грязевые сопки могут служить не просто индикаторами нефтеносности района, но и критерием для оценки его структурных особенностей, влияющих на распределение нефтеносности.

Твердая составляющая выбросов грязевых вулканов представляет собой измельченные частицы окружающих и подстилающих пород, которые вместе с водой и газами образуют сопочную грязь, превращающуюся впоследствии в сопочную брекчию. Жидкая грязь содержит единицы процентов твердых частиц (4–6%), а твердая – до 40–50%. Помимо глинистого тонкодисперсного вещества в сопочной грязи часто содержится некоторое количество более крупных обломков щебенки, обычно отвечающих по составу более твердым и хрупким породам самой продуктивной толщи, но иногда и из покрывающих эту толщу пород.

Специфические признаки грязевых вулканов – это периодичность действия, относительно спокойное состояние после бурного извержения и процесс накопления новой энергии. Эволюция грязевого вулкана после того, как он уже сформировался и существует ослабленная зона его канала для выброса продуктов вулканизма, может определяться как тектоническими причинами – неравномерным давлением, так и гидродинамикой, управляющей режимами флюида. Условия периодичности работы грязевых вулканов вполне аналогичны условиям работы гейзеров. Все районы развития грязевого вулканизма располагаются в сейсмически активных зонах различной потенциальной опасности.

Различные физические свойства среды размещения очагов грязевых вулканов и землетрясений дают возможность предположить следующую картину их взаимодействия. В том случае, когда оба очага находятся в динамически неустойчивом состоянии, вблизи критической точки разрядки, а энергия очага землетрясения превосходит энергию очага грязевого вулкана, может произойти землетрясение, сопровождаемое извержением грязевого вулкана. Сейсмическая энергия в этом случае будет частично израсходована на грязевулканический эффект.

В том случае, когда оба очага находятся в близкритическом состоянии, но очаг грязевого вулкана ближе к своему пределу, извержение может предвещать сейсмический толчок, а поле напряжений в районе несколько снижается, что может снизить эффект воздействия землетрясения. В некоторых случаях землетрясение может и не произойти. Тогда грязевулканическое извержение служит способом разрядки напряжений. Но, в то же время, если очаг грязевого вулкана, либо очаг землетрясения, далек от своего критического состояния извержения, то сейсмические толчки могут происходить и независимо друг от друга.

Извержения грязевых вулканов связаны с напряженным состоянием недр и отражают его динамику, и деятельность грязевых вулканов может быть использована как индикатор этого напряженного состояния.

### ***Профилактические мероприятия вулканических извержений***

#### **Защитные мероприятия от лавы.**

1. Бомбардировка лавового потока с самолета. Охлаждаясь, лавовый поток создает заградительные валы и течет в лотке. Когда же удастся эти валы прорвать, лава разливается, скорость ее течения замедляется и приостанавливается.
2. Отвод лавовых потоков с помощью искусственных желобов.
3. Бомбардировка кратера. Лавовые потоки по большей части возникают за счет того, что лава переливается через край кратера, если же удастся разрушить стенку кратера раньше, чем образовалось лавовое озеро, скопится немного меньше лавы и ее излияние по склону не принесет вреда. Сток лавы, кроме того, можно направить в нужном направлении.
4. Возведение предохранительных дамб.
5. Охлаждение поверхности лавы водой. На охлажденной поверхности образуется корка и поток останавливается.

#### **Защита от выпадения тефры.**

Создание и использование в случае извержения специальных укрытий. Возможно проведение эвакуации населения.

#### **Защита от вулканических грязевых потоков.**

От слабых грязевых потоков можно защититься дамбами или сооружением желобов. В некоторых индонезийских селениях у подножия вулканов насыпают искусственные холмы. При серьезных опасностях люди вбегают на них и таким образом могут избежать опасности. Существует еще один способ – искусственное понижение кратерного озера. Наилучшим способом является запрещение заселения опасной территории или эвакуация при первых признаках вулканического извержения.

#### Рекомендации по поведению при извержении вулканов.

Лавовый поток. При начале извержения не оставаться вблизи языков лавы.

Извержение тефры. Против дамб и лапиллей предпочтительно применение пассивной защиты, при этом нужно быть внимательным и отклоняться от них. Однако когда их падает слишком много, необходимо спрятаться в укрытие. Пепел наносит значительно больший ущерб. В непосредственной близости от вулкана необходимо надевать маски. Необходимо постоянно убирать пепел с крыш (чтобы предотвратить обрушение), в садах стряхивать пепел с деревьев, закрывать резервуары с питьевой водой. Рекомендуется защищать чувствительные приборы. Пока не наступит подходящий момент, лучше оставаться в укрытиях. Во время самого извержения эвакуация невозможна, так как отсутствует видимость. После извержения необходимо убрать с территории крупные грубые каменистые обломки. Пепел постепенно смоят дожди. Об очищении пастбищ позаботится сама природа, даже когда растительность уничтожена полностью, ее восстановление происходит сравнительно быстро.

Вулканические грязевые потоки. Немедленная эвакуация населения при малейших признаках извержения.

Вулканические наводнения. Действия населения должны быть те же, что и при обычном наводнении.

Палящая вулканическая туча. Немедленная эвакуация населения при малейших признаках извержения.

Вулканические газы. Население близлежащих районов должно быть снабжено противогазами. Необходимо эвакуировать скот из опасных областей. Насаждения успешно защищаются от действия вулканических газов умеренной посыпкой извести (для нейтрализации кислот).