

Вулканы

Подписи к слайдам

1. Александр Христофорович никогда не занимался вулканами. Но он много занимался облаками, к которым, вулканы имеют прямое отношение, поскольку основной газовой компонентой вулканических выбросов являются пары воды. Поэтому, я считаю, что и моё сообщение имеет отношение к главной теме нашей конференции, не говоря о том чувстве глубокого почтения, которое я испытываю к этому выдающемуся учёному-геофизику и человеку.
2. В качестве введения к теме скажем два слова о геологической истории Земли и её современном строении. Земля, как и вся солнечная система, образовалась четыре с половиной миллиарда лет тому назад, т.е. через 10 миллиардов лет после образования видимой вселенной. Мы не будем заниматься ранними стадиями её существования, а перенесёмся сразу во времена, отстоящие от нашего времени на 200 млн. лет, когда в мировом океане существовал один материк, который назывался Пангея, и один океан – Тетис, названный в честь греческой богини моря.
3. Затем, как известно, Пангея стала распадаться на части, которые начали расползаться, последовательно занимая положения, показанные здесь для разных моментов времени, пока не заняли свои сегодняшние места на земном шаре. Расползание происходило очень медленно, со скоростью роста ногтей на пальцах, но за 200 миллионов лет и этой скорости хватило, чтобы развести материки на их сегодняшние места. Удивительно, но причины расползания континентов были поняты всего только 50 лет назад, когда была развита более или менее общепризнанная теперь тектоническая теория литосферных плит, заменившая теорию дрейфа континентов. На слайде показаны границы этих плит, вот этими змеящимися кривыми, похожими на колючую проволоку. Чтобы понять эту теорию, надо представлять себе внутреннее строение Земли, показанное на следующем слайде.
4. В первом приближении (левый разрез шара) Земля включает твёрдую кору, толщиной всего 5-70 км, вот эта тонюсенькая чёрная кривая, полужидкую мантию и ядро. Далее (правый разрез) можно видеть, что ядро включает внутреннее твёрдое (из-за громадного давления) ядро, где температура выше, чем на поверхности Солнца, и внешнее жидкое ядро, а мантия состоит из верхней, жидкой мантии, которая называется

мезосферой, и полужидкой астеносферы, над которой расположена литосфера. На правой врезке показана верхние полторы тысячи км земной структуры, где ничего нового не возникает, а на левой врезке – верхние 660 км, где расположены полужидкая астеносфера, и твёрдая, каменная, литосфера, верхняя часть которой включает твёрдую континентальную (довольно толстую) и океаническую (довольно тонкую) кору.

5. Более детально строение коры показано на этом слайде. Видно, что континентальная кора, состоит из гранитных и базальтовых слоёв, и изменяется в пределах 20-60 км, а базальтовая океаническая кора – в пределах 3-5 км.
6. Здесь показан химический состав базальтов и гранитов. Видно, что базальты имеют довольно сложный химический состав, а граниты – довольно простой; это главным образом кремнезём или кварц.
7. А здесь – элементный состав Земли в целом. Видно, что главной весовой компонентой является железо, причём большая его часть присутствует в металлической форме в коре.
8. Плиты, с которых мы начали, занимают литосферу. Расположение литосферных плит на земле и типы их взаимодействия показаны на этом слайде. Видно, что плиты могут либо расходиться, (левый нижний рисунок), либо напозззть одна на другую, когда они движутся навстречу друг другу (средний рисунок), либо тереться друг о друга при параллельном движении в разные стороны. Первые два типа, расхождение и схождение, имеют прямое отношение к образованию вулканов и их активности. Поэтому рассмотрим эти взаимодействия более детально.
9. Здесь показано, как расплавленная магма астеносферы под действием конвективного теплового движения поднимается вверх, прожигает литосферу, вырывается наружу и растекается в стороны. На краях она снова погружается в астеносферу и плавится, создавая круговое движение расплавленной породы,
10. как это показано на следующем слайде.
11. Граница расходящихся плит называется дивергентной и обозначена линиями с поперечными штрихами. Если такая граница расположена под океаном, то она порождает срединно-океанические хребты — горные цепи, образованные веществом, выходящим на поверхность, такие, как Срединно-Атлантический хребет, являющийся самой длинной горной цепью на Земле. Причём, поскольку процесс истечения магмы происходит непрерывно, эта цепь фактически

является цепью непрерывно действующих вулканов. На слайде видно, что подобные хребты гор-вулканов существуют во всех океанах, и в Атлантическом, и в Тихом, и в Индийском. Если же дивергентная граница находится под материком, она буквально разрывает его. Примером такого процесса, происходящего в наши дни, служит Великая долина разломов, простирающаяся от Иордании на юг в Восточную Африку.

12. Другим примером является Исландия, через середину которой проходит дивергентная граница. Ну, и видно, что из этого получается.
13. Если на дивергентных границах образуется новая кора, значит где-то в другом месте кора должна разрушаться, иначе Земля увеличивалась бы в размерах. Такое разрушение коры происходит при столкновении двух плит, в результате чего одна из которых заползает под другую. Это явление называется *субдукцией*, или пододвиганием, а граница таких плит называется конвергентной границей. При этом плита, оказавшаяся внизу, погружается в мантию. Что происходит на поверхности над зоной субдукции, зависит от местонахождения границ плит.
Если зона субдукции расположена под океанической корой, то в результате пододвигания образуется глубокая срединно-океаническая впадина (жёлоб). Примером может служить самое глубокое место в Мировом океане — Марианская впадина около Филиппин. Вещество нижней плиты попадает вглубь магмы и расплавляется там, а потом может опять подняться к поверхности, образуя гряду вулканов — как, например, цепь вулканов на востоке Карибского моря и на западном берегу Соединенных Штатов.
14. Если обе плиты на конвергентной границе находятся под материками, результат будет совсем другим. Материковая кора состоит из легких веществ, и обе плиты фактически плавают над зоной субдукции. Поскольку одна плита пододвигается под другую, два материка сталкиваются, и их границы сминаются, образуя материковый горный хребет. Так сформировались Гималаи, когда Индийская плита около 50 миллионов лет назад столкнулась с Евразийской. В результате такого же процесса сформировались и Альпы, когда Италия соединилась с Европой. А Уральские горы, старую горную цепь, можно назвать «сварочным швом», образовавшимся при объединении европейского и азиатского массивов.
15. Если материк покоится только на одной из плит, на нем будут образовываться складки и смятия по мере его наплзания на зону субдукции. Примером этого служат Анды на Западном побережье Южной Америки. Они сформировались после того, как Южно-Американская плита наплыла на погрузившуюся под нее плиту Наска в Тихом океане.

16. Другим примером является вулканическое кольцо на побережьях Тихого океана, показанное на слайде. Красными точками показаны зоны активного вулканизма.
17. На этом слайде показаны детали процесса субдукции.
18. А это картина извержения вулкана Святой Елены в мае 1980 года, который расположен рядом с вулканом Худа, показанном на предыдущем слайде.
19. Ещё один тип вулканов – это вулканы горячих точек, которые никак не связаны с тектоникой литосферных плит. Они образуются там, где расплавленная магма способна прожечь кору, как правило, океаническую, поскольку она тоньше, и вырваться наружу. Типичным примером вулканов подобного типа является цепь Гавайских островов.
20. К вулканам этого типа относятся и так называемые супервулканы. Супервулканы - самая деструктивная сила на нашей планете. Мощность их извержения в тысячу раз больше, чем у обычных вулканов. Таких спящих "монстров" на Земле всего несколько: Тоба на Суматре, Камчатский, Йелустонский и Лонг-Веллин на Западе США, Таупо в Новой Зеландии.
- Супервулканы, это такие огромные кальдеры - полости, находящиеся глубоко под земной поверхностью, которые постоянно наполняются поднимающейся из недр расплавленной магмой. По мере того, как кальдера наполняется, давление магмы увеличивается и в один прекрасный момент все это хозяйство выплескивается наружу. В отличие от обычных вулканов, супервулканы скрыты, они не проявляют себя горами типа Этны с жерлом вместо вершины. И они в тысячи раз мощнее. Во время извержения супервулкана громадные территории покрываются метровым слоем горячей золы, небо над всей Землей затягивается черными тучами, средняя температура падает на 5-10 градусов и наступает ядерная зима. Одно утешение, что такие извержения исключительно редки и случаются раз в несколько сотен тысяч лет.
- Гигантское извержение вулкана Тоба на острове Суматра 73 тысячи лет назад уничтожило древесную растительность на большей части территории современной Индии и привело к резкому глобальному похолоданию, которое наши предки едва пережили.

В атмосферу было выброшено примерно 800 кубических километров пепла, а на месте вулкана образовался кратер длиной 100 километров и шириной 35 километров. Осадочные породы, сформированные этим

пеплом, были найдены на территории Индии, на дне Индийского океана: в Бенгальском заливе и Южно-китайском море.

Извержение, по словам исследователей, вызвало так называемый "мгновенный ледниковый период" - резкое похолодание из-за отражения солнечных лучей от поверхности суши, покрытой пылью, а также сульфатными аэрозольными частицами, оказавшимися в верхних слоях тропосферы. Это похолодание, по мнению авторов статьи, продолжалось почти 1,8 тысячи лет.

21. Из современных супервулканов наибольшую опасность представляет, по-видимому, кальдера Йеллоустонского парка. Она находится на месте древнего вулкана, который начал взрываться 650 000 лет назад, когда мощность его извержения в 2500 раз превысила взрыв вулкана Сент-Хеленс. Выброшенный при извержении пепел покрыл практически всю Северную Америку. С интервалами в 20 000 лет мощные извержения повторялись, и в результате появился нынешний кратер. Последний из подобных грандиозных взрывов был 70 000 лет назад. Уже просчитаны сценарии, по которым будут развиваться события. В случае с Йеллоустоуном все будет примерно так.

За несколько дней до взрыва земная кора «взбухнет», то есть поднимется на несколько метров. При этом почва нагреется до 60-70°C. В атмосфере резко вырастет концентрация сероводорода и гелия. Все это послужит сигналом к началу массовой эвакуации населения. Взрыв будет сопровождаться мощнейшим землетрясением, которое будет ощущаться во всех точках планеты. Скальные куски подбросит на высоту до 100 км. Падая, они накроют собой гигантскую территорию – несколько тысяч квадратных километров. После взрыва кальдера начнет извергать лавовые потоки. Скорость потоков составит несколько сот километров в час. В первые же минуты после начала катастрофы будет уничтожено все живое радиусе более 700 км и почти все – в радиусе 1200 км. Причем погибать люди будут в основном не из-за того, что засыплет пеплом или зальет лавой, а из-за удушья и отравления сероводородом. Извержение будет продолжаться несколько суток. За это время улицы Сан-Франциско, Лос-Анджелеса и других городов Соединенных Штатов Америки будут завалены полутораметровыми «сугробами» из вулканического шлака (эта субстанция есть не что иное, как перемолотая в пыль хорошо всем знакомая пемза). Все Западное побережье США превратится в одну огромную мертвую зону. Здесь в непосредственной опасности находятся жители практически всего американского северо-запада и части Канады. В пределах 600-мильного радиуса, на территории в 10.000 квадратных километров будут бушевать пирокластические потоки – самый смертоносный продукт извержения. Они возникнут, когда давление, выбросившее столб газа и камней высоко в

атмосферу на секунду ослабнет, и часть столба обрушится на окрестности огромной, сжигающей все на своем пути, лавиной. В пирокластических потоках таких масштабов выжить будет невозможно. При температуре выше 400 градусов тела просто сварятся, плоть отделится от костей. Пирокластические потоки убьют около 100.000 человек в первые минуты после начала извержения. Но это – совсем незначительные потери, по сравнению с теми, что мы понесем, когда облако пепла из Йелоустона начнет распространяться вширь. В течение суток в зоне бедствия окажется вся территория Соединённых Штатов до Миссисипи. Вулканический пепел кажется довольно безобидной субстанцией. Это не такая очевидная угроза, как пирокластический поток или лава, однако, она представляет не меньшую угрозу. Через некоторое время пепел покроет не только всю территорию США. Слой до 8 сантиметров будет покрыт весь мир. Наибольшей опасности могут подвергнуться территории, находящиеся за тысячи километров от вулкана, где слой пепла будет максимальным. Когда слой вулканических осадков достигнет толщины в 15 сантиметров, нагрузка на крыши станет слишком большой и здания начнут рушиться. Если людей не предупредить заранее, от одного до 3 человек в каждом доме погибнут или будут серьезно травмированы. Это будет основной причиной смерти в обойдённых пирокластической волной районах вокруг Йелоустона, где слой пепла будет никак не меньше 60 сантиметров. По расчетам нейркомпьютера HAZUS-4 от пепла могут погибнуть около полумиллиона человек. Спустя некоторое время землетрясение спровоцирует извержение нескольких десятков, а возможно, и сотен обычных вулканов во всех концах света, которые последуют через три-четыре часа после начала Йеллоустоунской катастрофы. Определить, какие именно вулканы при этом рванут, не представляется возможным, поэтому может случиться, что человеческие потери от этих «второстепенных» извержений превысят потери от извержения «основного», к которому мы будем готовы. Извержения океанских вулканов породят множество цунами, которые сотрут с лица земли все тихоокеанские и атлантические прибрежные города.

Уже через день на всем континенте начнут лить кислотные дожди, которые уничтожат большую часть растительности. Озоновая дыра над материком вырастет до таких размеров, что всё избежавшее гибели от вулкана, пепла и кислоты падет жертвой солнечной радиации.

На то, чтобы пересечь Атлантику и Тихий океан, тучам пепла и золы потребуется две-три недели, а спустя месяц они закроют Солнце по всей Земле. Пеплопады пройдут повсеместно, причем интенсивность их будет такова, что днем невозможно будет разглядеть предмет, находящийся на расстоянии 20- 30 см от глаз. Температура атмосферы упадет в среднем на 21°C. Северные страны, такие, как Финляндия или Швеция, просто перестанут существовать. Масштабные землетрясения и резкое похолодание выведут из строя большую часть трубопроводов, железных дорог и линий

электропередачи. Жизнь остановится. Но пепел и пирокластические потоки – не главная опасность. При извержении будет выбрасываться сера, которая образует крошечные капли серной кислоты или аэрозоли, когда оказывается высоко в стратосфере. Стратосфера – это слой выше самых высоких облаков, которые мы можем видеть. Здесь нет облаков водяного пара, чтобы растворить ее. Кислота может оставаться там много лет. Эти аэрозоли образуют завесу, которая будет отражать солнечный свет, и от этого температура на земле снизится. Каким будет снижение температуры, зависит от количества выбросов. Через три недели аэрозоли образуют над миром покров из серы. Такой плотный, что он станет причиной невиданного до сих пор глобального похолодания. После извержения в Йелоустоне, температура на земле резко упадет в среднем на 15-20 градусов. То есть большая часть планеты будет покрыта снегом почти круглый год. И так минимум, 3-4 года. При этом погибнут посевы, а земледелие окажется в состоянии коллапса. Еще более фатальные события произойдут в тропиках, где температура упадет почти на 15 градусов, следствием чего будет полное опустошение. Прекратятся муссоны в юго-восточной Азии, где дожди дают надежду на выживание трём пятым населения земли. Массовый голод станет страшной реальностью...

Больше всего пострадают самые густонаселенные и зависимые от сельского хозяйства Индия и Китай. Здесь от голода уже в ближайшие месяцы погибнет до 1,5 млрд человек. Всего в результате катаклизма будет уничтожено более 2 млрд человек (или каждый третий житель Земли). Меньше всего будут подвержены разрушениям сейсмически устойчивые и находящиеся в глубине континента Сибирь и восточноевропейская часть России. Продолжительность «вулканической зимы» составит четыре года. Но, учитывая активную борьбу с ней уцелевшей части человечества, этот срок можно сократить вдвое.

22. Общая схема газовых вулканических выделений.

23. Химический состав пепла.

24. Газы, выделяющиеся из магмы до и после извержения, имеют вид белых струй водяного пара. Когда к ним при извержении примешивается тефра (осевший вулканический пепел), выбросы становятся серыми или черными. Слабое выделение газов в вулканических районах может продолжаться годами. Такие выходы горячих газов и паров через отверстия на дне кратера или склонах вулкана, а также на поверхности лавовых или пепловых потоков называют фумаролами. К особым типам фумарол относят сольфатары, содержащие соединения серы, и мофеты, в которых преобладает углекислый газ. Температура фумарольных газов близка к температуре магмы и может достигать 800. С, но может и снижаться до температуры кипения воды (100⁰ С), пары которой служат основной

составляющей фумарол. Фумарольные газы зарождаются как в неглубоких приповерхностных горизонтах, так и на больших глубинах в раскаленных породах. В 1912 в результате извержения вулкана Новарупта на Аляске образовалась знаменитая Долина десяти тысяч дымов, где на поверхности вулканических выбросов площадью ок. 120 км² возникло множество высокотемпературных фумарол. В настоящее время в Долине действует лишь несколько фумарол с довольно низкой температурой. Иногда от поверхности еще не остывшего лавового потока поднимаются белые струи пара; чаще всего это дождевая вода, нагревшаяся при соприкосновении с раскаленным потоком лавы.

Химический состав вулканических газов. Газ, выделяющийся из вулканов, на 50-85% состоит из водяного пара. Свыше 10% приходится на долю углекислого газа, ок. 5% составляет сернистый газ, 2-5% . хлористый водород и 0,02-0,05% . фтористый водород. Сероводород и газообразная сера обычно содержатся в малых количествах. Иногда присутствуют водород, метан и оксид углерода, а также небольшая примесь различных металлов. В газовых выделениях с поверхности лавового потока, покрытого растительностью, был обнаружен аммиак.

25. Область термодинамически стабильных гидратов.

26. Механизм активации хлорного цикла.

27. Влияние извержения Пинатубо на озоновый слой.