

СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Доктор сельхоз. наук, кандидат техн. наук *Ю.В. Подрезов*
ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)
Московский физико-технический институт

Выполнен всесторонний анализ современных взглядов на физические особенности вулканической деятельности и ее последствия. В качестве основного примера рассмотрены проблемы и физические особенности вулканической деятельности, связанные с Йеллоустонским вулканом в США и российским вулканом Ключевской на Камчатке.

Материалы об особенностях функционирования вулканов на территории Российской Федерации будут полезны для совершенствования систем поддержки принятия управленческих решений в чрезвычайных ситуациях; центрах управления в кризисных ситуациях (далее – ЦУКС), включая национальный ЦУКС МЧС России (далее – НЦУКС МЧС России); единых дежурно-диспетчерских службах (далее – ЕДДС) и других органах управления, обеспечивающих организацию борьбы с последствиями опасной вулканической деятельности на территориях подверженных вулканической опасности, а также для развития и совершенствования методического, программного и информационного обеспечения АИУС РСЧС при организации борьбы с вулканической опасностью.

Ключевые слова: вулкан, единые дежурно-диспетчерские службы, извержение вулкана, катастрофа, лава, лавовый поток, магма, центры управления в кризисных ситуациях.

MODERN VIEWS ON THE PHYSICAL FEATURES OF VOLCANIC ACTIVITY AND ITS CONSEQUENCES

Dr. of agricultural sciences, Ph.D (Tech) *J.V. Podrezov*
FC VNII GOCHS EMERCOM of Russia
Moscow Institute of physics and technology (state University)

The article provides a comprehensive analysis of modern views on the physical features of volcanic activity and its consequences. As a basic example, the problems and physical features of volcanic activity associated with the Yellowstone volcano in the United States are considered.. and the Russian volcano Klyuchevskoy in Kamchatka. The article is about features of volcanoes on the territory of the Russian Federation will be useful for improving systems to support managerial decision-making in emergency situations; control centres in crisis situations (hereinafter – CMC), including the national CMC of EMERCOM of Russia (hereinafter – the national emergency management center of EMERCOM of Russia); Edinaya dezhurno-dispatching service (further – EDDS) and other controls for the organization combat the effects of the threat of volcanic activity on the territories subject to volcanic hazards, as well as for the development and improvement of methodical, software and information support AICS prevention and response in.

Keywords: volcano, unified duty and dispatch services, volcanic eruption, disaster, lava, lava flow, magma, crisis management centers.

Информация об особенностях функционирования вулканов на территории Российской Федерации необходима для совершенствования систем поддержки принятия управленческих решений в ЧС, ЦУКС, ЕДДС и органах управления, обеспечивающих организацию борьбы с последствиями опасной вулканической деятельности на территориях подверженных вулканической опасности, а также для развития и совершенствования методического, программного и информационного обеспечения АИУС РСЧС при организации борьбы с вулканической опасностью, что свидетельствует об актуальности рассматриваемой в статье тематики.

В последние годы нередко вулканы проявляют себя в различных точках земного шара зонах вулканической активности. Некоторые вулканы «засыпают» на время - другие активизируются. В мире на сегодня зарегистрировано около 1000 действующих вулканов, при этом четвертая часть из них находится под водой. Несмотря на то, что самый большой в мире вулкан находится в Южной Америке, в России их тоже не мало. Но, на российских вулканах остановимся позже. Нередко с извержением вулканов связаны и оползневые и селевые процессы [1-3].

Только в США насчитывается около 100 вулканов различной степени активности, куда входит и самый большой из них – Йеллоустон.

Следует заметить, что на северо-западе Соединенных Штатов Америки, а, именно на территории штатов Монтана, Айдахо и Вайоминг находится Йеллоустонский национальный парк, который включен в состав объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО как международный заповедник. Этот парк создан в марте 1872 года и считается самым первым национальным парком в мире. При этом он занимает площадь около 898,3 тысяч гектаров. На территории данного парка и расположен вулкан Йеллоустоун с его громадными размерами – приблизительно 72 км на 55 км, что составляет почти третью часть всей площади парка.

Необходимо сказать, что Йеллоустоунская кальдера представляет собой активную вулканическую систему, входящую в перечень 20 сверхвулканов мира. При этом предполагаемая мощность извержения каждого из вулканов данного списка может спровоцировать серьезные и даже кардинальные изменения климата на всей нашей планете.

Вся площадь Йеллоустоунской системы расположена над, так называемой горячей точкой, то есть местом, в котором происходит движение горячей жидкой породы мантии в направлении к поверхности Земли. При этом, данный участок накрыт плато. Многочисленные и многолетние наблюдения специалистов показывают, что направление движения горячей точки - в восточную и северо-восточную часть Североамериканского континента. А, сама Североамериканская плита в целом перемещается в сторону запада и юго-запада.

Если посмотреть на устройство вулкана, то следует обратить внимание на то, что вначале при изучении спутниковых снимков территории биосферного заповедника в 1960-1970 годах были замечены развалины кратера Йеллоустона. Результаты последующих исследований позволили определить нахождение крупнейшего пузыря раскалённой магмы, расположенного на глубине более 8000 метров (рис. 1). Магматическая температура внутри него равняется 800 градусам Цельсия. Это дает возможность нагревать термальные источники, выпускать из-под земной коры как водяной пар, так и углекислоту и сероводород. Поэтому здесь же расположена самая большая в мире долина гейзеров, которая входит в пятёрку самых крупных долин по всему земному шару.

Что же питает Йеллоустоунскую систему?

Источником питания для нее служит громадный вертикальный плюм, который представляет собой поток расплавленной твёрдой породы мантии с температурой около 1600 градусов Цельсия. При этом в верхних слоях, ближе к земной коре, расплавление части плюма в магму способствует возникновению грязевых котлов и гейзеров. Необходимо

заметить, что разрез плюма, имеющий сверху воронкообразное расширение, представляет собой столб длиной 660 километров с ответвлениями по сторонам.

Независимо от своих структурных особенностей любой вулкан опасен своими извержениями. Не исключение и Йеллоустон. Многие эксперты в ходе изучения его активности пришли к единому мнению, что исторически происходило три глобальных поражающих своей масштабностью и количеством жертв, извержения. После взрыва пепел покрывает всю прилегающую поверхность Земли и, кроме того, препятствует прохождению солнечного света, что приводит к определенному периоду, называемому «вулканической зимой».

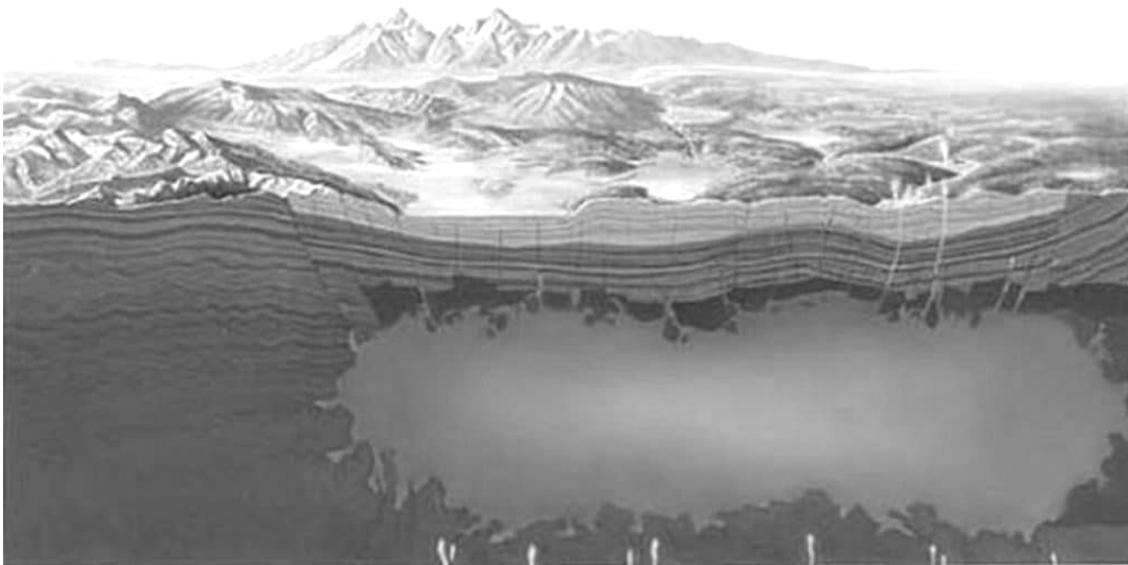


Рис. 1. «Устройство» вулкана Йеллоустон

Около 2 миллионов 100 тысяч лет тому назад было первое извержение, приведшее к возникновению кальдера Айленд-Парк и туфовых образований Хаклберри-Ридж. Ученые полагают, что извержение обладало настолько большой мощностью, что пепел от взрыва накрыл четвертую часть Североамериканского континента, и выброс магмы достигал высоты верхних слоёв стратосферы. А, это 50 километров над уровнем поверхности Земли. При этом, горные хребты были сильно разорваны.

Йеллоустон приблизительно около 1,3 миллионов лет тому назад выбросил порядка 280 кубических километров вулканической смеси. Это было второе его извержение, приведшее к образованию большой кальдеры Хенрис-Форк.

И, наконец, третье извержение этого вулкана случилось 640 000 лет назад. Ученые считают его более слабым, чем первое примерно в 2 раза. Это извержение привело к провалу вершины кратера и формированию кальдеры (впадины), имеющей окружность почти 150 километров и образованию туфовой местности Лава-Крик. Следует отметить, что извержение этого сверхвулкана рассматривается как второе в списке по мощи, ущербу и разрушительной силе глобальным катаклизмом, уступающим только падению астероида.

Необходимо сказать, что ежегодно на территории Йеллоустоунской системы происходят землетрясения. При этом они очень незначительны хотя их количество находится в пределах 1000-2000 случаев. Но, как правило, туристы – посетители, которые несмотря на угрозы существующей опасности – тысячами приезжают полюбоваться удивительны-

ми пейзажами практически угроз не замечают. Учёными, по результатам исследований спрогнозирована вероятность новых катастрофических извержений в Йеллоустоунском национальном парке равная 0,00014 % в год. При этом, в основе проведенных расчётов, были взяты два отрезка времени между тремя вышеописанными масштабными катастрофами. Вместе с тем, геологи и сейсмологи единогласно высказывают мнение о том, что процессы извержений вулканов и им подобные на современном этапе носят не регулярный характер и, кроме того, не поддаются контролю, прогнозу и, тем более, управлению.

Однако, в информационных сетях ежегодно и регулярно мы видим разнородные сообщения о пробуждении сверхвулкана и о скором приближении катастрофы, которая сможет нанести удар огромной силы по всей Североамериканской территории, уничтожит население, промышленные и сельскохозяйственные объекты и изменит климат.

А, что же говорит наиболее пессимистический прогноз ученых по поводу ситуации с вулканом? Указанный прогноз информирует общественность о возможном катастрофическом выбросе магмы в объёме равном 1000 кубических километров при возможном и ожидаемом извержении Йеллоустона. Это приведет к тому, что мощнейшая горящая лавина уничтожит жизнь на расстоянии до 1600 километров от центра катастрофы, и покроет около двух третей США слоем вулканического пепла толщиной в три метра.

Несмотря на отсутствие у ученых единства во взглядах на возможное извержение Йеллоустона и малую рассчитанную его вероятность, ряд из них все-таки полагает что вулкан является серьёзной угрозой для Северной Америки. Поэтому под управлением NASA на государственном уровне разработан комплекс мероприятий для предотвращения возможных негативных последствий. При этом специалистами было определено, что для сдерживания опасных выбросов основным рычагом может служить обычная вода, уводящая избыточную энергию от магмы, посредством пробивающихся через земную толщу гейзеров. По расчетам специалистов это позволит «увести» около 70 % энергии, а остальные 30 % уйдут на расплавление пород, что и в итоге приведёт к новому извержению. Следует заметить, что эта остаточная сумма энергии равняется мощности в несколько гигаватт, что эквивалентно работе шести теплоэлектростанций.

Некоторые специалисты считают целесообразным для дальнейшего отбора излишка энергии построить на территории Йеллоустоунского национального парка новейшую геотермальную электростанцию. Решение этой проблемы связано с рядом трудностей экономического и технологического характера: во-первых, нужны огромные средства в размере около трех с половиной миллиардов долларов и, во-вторых, необходимо применение достаточно сложной технологии горизонтального бурения, чтобы избежать повреждения оболочки кальдеры. На настоящий период времени данный проект обсуждается и дорабатывается, но есть высокая вероятность его окончательного утверждения. И, возможно, в скором будущем специалисты окончательно утвердят технические характеристики проекта и начнут его реализацию.

Как было сказано выше в США особую опасность, по мнению многих экспертов в области вулканической деятельности, представляет на сегодня вулкан Йеллоустоун с вершиной на высоте 2805 метров. Действительно, его последнее извержение произошло 640 тысяч лет назад. И многие специалисты сегодня считают, что он готовится к новому очень мощному извержению.

Вместе с тем, другие специалисты не включили Йеллоустонскую кальдеру в список восемнадцати самых опасных вулканов США, так как ее извержение, способное достигнуть наивысшей категории по шкале вулканической активности, они считают пока маловероятным.

Что же подвигло ученых заговорить о текущей опасности этого вулкана? Дело в том, что октябрь 2020 года на территории национального парка Йеллоустоун стал месяцем

интенсивных землетрясений. Только за этот период в окрестностях этой территории было зафиксировано 86 подземных толчков. Это побудило специалистов сделать соответствующе заявление о растущей опасности того, что супервулкан может прорваться до конца этого года.

Следует упомянуть, что Геологическая служба США (USGS) назвала самые опасные вулканы, на своей территории - их 18. На рис. 2 изображено извержение вулкана Августин в 2006 году.



Рис. 2. Извержение вулкана Августин. 2006 год

Для них в ближайшем будущем высок риск извержения, которое может иметь катастрофические последствия.

Большинство активных вулканов входят в состав Алеутских островов, а большинство потухших - расположены на Аляске.

В списке наивысших вулканических угроз первое место отдается щитовому вулкану Килауэа, который располагается на Большом острове Гавайев. В 2018 году, когда происходила последняя серия извержений, было уничтожено несколько сотен домов потоком его лавы.

Гора Сент-Хеленс, взорвавшаяся в 1980 году и унесшая жизни 57 человек, находится на втором месте. Стратовулкан Рейнир является спящим, но находится на третьем месте, поскольку в случае извержения опасен для 150 тысяч человек.

Подводя итог по территории США, следует заметить, что основное количество наиболее опасных вулканов находится на западном побережье США. Из них: три вулкана находятся в Калифорнии, пять — на Аляске и по 4 в штатах Вашингтон и Орегон.

Если посмотреть на российские вулканы, то, необходимо отметить их количество - тридцать действующих и две сотни потухших вулканов образуют единый вулканический

пояс, расположенный на восточном побережье Камчатки. Кроме того, сто шестьдесят восемь вулканов располагаются на Курилах.

Самым большим вулканом России считается, расположенный недалеко от поселка Ключи, Ключевской вулкан, образованный за более чем 100 извержений около 5000 лет назад со своими двенадцатью правильными конусами - вершинами, которые находятся в 60 километрах от Берингова моря. Он входит в состав Ключевской сопки на полуострове Камчатка, имея высоту в 4750 метров и диаметр кратера – более полукилометра. Необходимо отметить следующую особенность вулкана - Ключевская Сопка за все время своего существования не раз изменяла свою абсолютную высоту от 4750 до 4850 метров. Она представляет собой самый высокий вулкан на евразийском континенте. При этом за последние двести семьдесят лет произошло более 50 извержений, а наиболее крупные наблюдались в девятнадцатом веке. Вулкан и сейчас наиболее активен среди других вулканов континента. Его извержения наблюдаются ориентировочно один раз в 5–6 лет. При этом последнее извержение было в 2017 году. Пепел разносился по всему Восточному полушарию, а выбросы достигали высоты в 8 тысяч метров. Пламя при выбросе наблюдалось в течение еще нескольких дней после извержения. А, на вершине наблюдалось необычное явление – «облако-шапка» из-за скопления влажного воздуха,

К Ключевской группе вулканов относится и вулкан Толбачик, имеющий высоту 3682 метра и, принадлежащий к типу гавайского вулкана. Он состоит из Острого Толбачика (самый высокий конус) и Плоского Толбачика (действующий конус). По типу конуса вулкан относят к стратовулканам. При этом Плоский Толбачик имеет длину кратера - 2 километра. Следует отметить, что последнее извержение рассматриваемого вулкана наблюдалось в 1975-1976 годах.

Еще один крупный действующий стратовулкан Авача с высотой 2741 метр и диаметром кратера почти 400 метров, является действующим и находится вблизи Петропавловска – Камчатского. Его особенностью является то, что нижняя часть вулкана покрыта лесами, а верхняя - ледниками. Последний раз наблюдалось извержение Авачи в 2001 году.

Переходя к физическим особенностям вулканической деятельности, следует отметить, что на настоящее время существует множество концептуальных подходов к особенностям возникновения вулканической деятельности и ее реализации.

С физической точки зрения следует понимать, что в результате вулканической деятельности в глубинах Земли возникают вулканы, которые при определенных условиях о которых скажем ниже, извергают магму – лавовые потоки.

Приблизительно на глубине от 10 до 30 км в отдельных пространствах накапливается магма, представляющая собой расплавленные горные породы, так как внутренняя часть Земли вследствие высокой температуры вещества постоянно находится в разогретом состоянии.

Как же происходит вулканическое извержение из недр Земли, или эксплозиция, согласно современным взглядам ученых?

Когда возникают тектонические подвижки в земной коре, которые приводят к образованию в ней трещин, магма стремительно движется по этим трещинам к поверхности Земли. При этом выделяются пары воды и газов, которые при расширении высвобождаются в виде взрыва, позволяя устранить преграды на пути движения магмы.

Что же происходит при выходе магмы на поверхность?

Вследствие быстрого охлаждения при выходе на земную поверхность некоторая часть магмы превращается в шлак, а другая - изливается в виде лавы. А, взрыв рвет горные породы, которые окружают вулкан, и вместе со шлаком выбрасывает их в атмосферу, откуда последние выпадают на земную поверхность. Состоят они, в основном, из вулканических туфов или тефры.

При этом горные породы, вулканические шлаки, пемза, пепел, нагромождаются вокруг жерла (канала извержения), образуя гору как правило конусообразной формы, которую собственно и называют вулканом.

В его верхней части расположен кратер, имеющий форму воронки, связанной каналом (жерлом) с магматическим очагом. Если жерло закупорено застывшей лавой, а из глубин Земли продолжает поступать магма извержение может повториться.

Ниже рассмотрим какие же опасные явления сопровождают извержения вулканов.

К наиболее опасным явлениям, сопровождающим этот процесс, необходимо отнести:

- лавовые потоки;
- выпадение тефры;
- вулканические грязевые потоки;
- вулканические наводнения;
- палящую вулканическую тучу;
- вулканические газы.

Рассмотрим особенности проявления каждой из составляющих вышеуказанных опасных явлений.

Лавовые потоки представляют собой лаву, т.е. расплав горных пород, разогретых до температуры $900^{\circ} - 1000^{\circ}$, которая в зависимости от состава горных пород может быть либо жидкой, либо вязкой. При этом лавовый поток движется тем быстрее, чем мощнее сам лавовый поток, больше уклон конуса вулкана и жиже лава. А, скорости лавовых потоков бывают от нескольких сантиметров до нескольких десятков километров в час. Редко (в наиболее опасных случаях), скорость потоков может достигать и 100 километров в час, но чаще всего скорость их движения не превышает одного километра в час.

При колоссальных смертоносных температурах лавовые потоки опасны лишь тогда, когда на их пути оказываются населенные пункты и объекты экономики. Как показывают результаты наблюдений в этом случае остается время на эвакуацию населения и проведение различных защитных мероприятий. Вместе с тем, исходя из анализа статистики вулканической опасности вблизи вулканов нецелесообразно расположение жилых построек и объектов экономики.

Но, следует также отметить негативное влияние извержения вулканов и на окружающую природу. На пути потоков лавы нередко находятся леса, которые, естественно гибнут, когда лава их накрывает. Гибель биогеоценоза приводит и к потере лесом ряда присущих ему функций, в том числе, рекреационной функции – ведь лес место отдыха населения. Но, оценка ущерба от гибели лесов представляет собой отдельную довольно сложную научную проблему.

Сопровождает извержение вулкана выпадение тефры, представляющей собой обломки застывшей лавы, более древних подповерхностных горных пород и раздробленного вулканического материала, образующего конус вулкана, и формирующейся при вулканическом взрыве.

Следует отметить, что при этом образуются вулканические бомбы, которые отлетают на несколько километров от кратера. А, объем тефры при некоторых вулканических извержениях значительно превосходит объем лавы - бывают выбросы тефры в десятки кубических километров.

Опасность тефры заключается в возможной гибели людей, животных, растений и разрушения населенных пунктов, объектов экономики, гибели урожая на сельскохозяйственных угодьях попадающих в зону выброса. Следует отметить, что вероятность выпадения тефры на населенные пункты объекты экономики в существенной степени зависит от направления ветра. Эта зависимость, в силу неопределенности погодных условий, представляет собой достаточную сложность при организации работ по лик-

видации последствий извержения вулканов. В этом случае необходимо учитывать прогнозы погоды, желательно краткосрочные с небольшим интервалом упреждения: на одни – двое суток вперед.

Таким образом, мы рассмотрели, и выполнили анализ современных взглядов на физические особенности вулканической деятельности и ее последствия на примерах вулканов США и Российской Федерации. Вся полученная аналитическая информация будет весьма полезна ученым и специалистам вулканологам и сейсмологам, а также тем специалистам, которые занимаются предупреждением и ликвидацией чрезвычайных ситуаций, вызываемых природными опасностями. Особо следует подчеркнуть, что данная информация будет полезна для ученых и специалистов, занимающихся совершенствованием систем поддержки принятия управленческих решений в ЧС, ЦУКСах, включая НЦУКС МЧС России, ЕДДС и других органах управления, обеспечивающих организацию борьбы с последствиями опасной вулканической деятельности на территориях подверженных вулканической опасности, а также для развития и совершенствования методического, программного и информационного обеспечения АИУС РСЧС при организации борьбы с вулканической опасностью.

Литература

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D1%8B_%D0%A1%D0%A8%D0%90.
2. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С. и Тимошенко З.В. Особенности возникновения, развития и предупреждения селей на территории Российской Федерации". Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2019.
3. Подрезов Ю.В. "Особенности прогнозирования лавинной опасности на территории Российской Федерации". Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 1 за 2020.

Сведения об авторе

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84; e-mail:uvp1@mail.ru.