

Первая попытка зондирования вулканического облака

А.Б.Белоусов, М.Г.Белоусова,
кандидаты геолого-минералогических наук
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
Петропавловск-Камчатский

В науках о Земле большую ценность имеют данные прямых измерений, когда удается получить реальные, количественные характеристики объекта исследования. В вулканологии, по понятным причинам, прямые измерения многих параметров извержений, в особенности эксплозивных (взрывных), вообще невозможны или трудновыполнимы. И наша наука, во многом, все еще остается описательной.

Один из объектов изучения вулканологии — облака эксплозивных извержений. Они образуются, когда выброшенная из жерла горячая струя газов (водяного пара с примесями CO , CO_2 , H_2SO_4 , HCl , HF и др.), содержащая пирокластику (затвердевшие или в виде капель расплава частицы раздробленной взрывом магмы), смешиваясь с воздухом, начинает всплывать в атмосфере. Достигнув некоторой высоты, облако извержения сносится ветром, часто образуя многокилометровый шлейф. Вулканические облака различаются по типам и размерам, что связано с многообразием эксплозивных извержений и метеорологических условий, в которых они формируются. Интерес к ним не только академический. Для авиации представляют

опасность облака даже относительно небольших извержений, а особенно крупных — способны вызывать планетарные изменения климата с катастрофическими последствиями для биосферы.

Из многочисленных параметров, как правило, измеряется только один (и то обычно «на глаз»), — максимальная высота, на которую облако поднимается в атмосфере. Она связана с тепловой энергией, заключенной в нем, и позволяет приблизительно оценить расход магмы во время извержения. В некоторых случаях, обрабатывая видео- и киносъемки вулканических взрывов, определяют начальную скорость выброса пирокластического материала из жерла вулкана. В последнее время делаются попытки применять радар, используя доплеровский эффект. Зная скорость выброса пирокластики, можно оценить количество газа, содержавшегося в магме до взрыва. Остальные ключевые параметры вулканических облаков (температура, концентрация и гранулометрический состав пирокластики, химический состав газов и др.) измеряются дистанционно с большой погрешностью или весьма приблизительно оцениваются косвенными методами. Недостаток знаний о процессах, происходящих в обла-

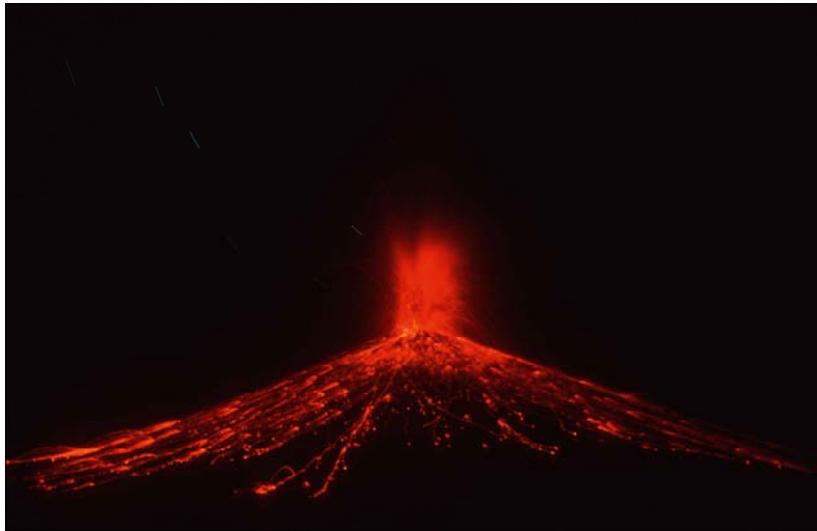
ках извержений, пытаются восполнить при помощи бурно развивающегося физического и математического моделирования. Однако из-за недостатка количественных данных о реальном объекте такое моделирование, во многих случаях, сильно оторвано от жизни.

Решая, как измерить параметры вулканического облака, мы столкнулись с вопросом, а почему нельзя осуществить его зондирование при помощи какого-либо беспилотного летательного аппарата? В метеорологии зондирование атмосферы с использованием воздушных высотных змеев, аэростатов и ракет успешно выполняется уже более 100 лет, и технология этих методов отработана. Очевидно, что с некоторыми изменениями их можно применить и в вулканологии. Воплощая эту идею в жизнь, летом 2003 г. мы попытались доставить зонд непосредственно в пепловое облако извергающегося вулкана.

Главная цель проведенного эксперимента (помимо проверки принципиальной возможности зондирования) — определение концентрации и распределения по размерам пирокластических частиц. Эта проблема — одна из важнейших в вулканологии. Без таких данных невозможно понять процессы фрагментации магмы при взрывах,

подсчитать объем выброшенного материала, предсказать воздействие извержений на климат и оценить опасность вулканических облаков для самолетов. Сейчас распределение пирокластики приблизительно оценивается на основе данных гранулометрического анализа тефры — частиц, выпавших из облака на землю. Но гранулометрический состав тефры, собранной на земле, кардинально отличается от гранулометрического состава пирокластики в вулканическом облаке. Это происходит потому, что частицы выпадают из вулканической тучи постепенно, по мере остывания и затухания и ней турбулентности, которая поддерживает их, не давая сразу упасть на землю. В результате, крупные частицы выпадают ближе к вулкану (на самом деле, все сложнее, так как пирокластика еще просеивается через многокилометровый слой воздуха, где с высотой меняется как направление, так и скорость ветра). Самая же мелкая вулканическая пыль может годами висеть в стратосфере, переносясь воздушными потоками на огромные расстояния и медленно оседая на всей поверхности земного шара. Количество этой мелочи и есть самый важный параметр. Оценки показывают, что масса такой пыли может быть равна (или даже в несколько раз превосходить) массе пирокластики, выпадающей на землю вблизи вулкана. Последняя обычно и принимается за количество изверженного материала. Объемы тонкого вещества, выброшенного в атмосферу крупнейшими вулканами, могут достигать нескольких сотен кубических километров.

Самое лучшее решение данной проблемы — прямое опробование. Необходимо захватить и изолировать некоторый объем вулканического облака, и после полного осаждения пирокластики провести ее гранулометрический анализ известными методами — ситовым, пипеточным. при помощи лазерного



Выброс вулкана Карымский ночью 27 июля 2003 г.

Здесь и далее фото авторов

анализатора или сканирующего электронного микроскопа. Наиболее интересны для специалистов самые мелкие частицы. Поэтому образец может быть небольшим — мелочь статистически представлена даже в нескольких литрах вулканического облака. Чтобы доставить пробоотборник, не обязательно лететь самому. Достаточно беспилотного аппарата. Кажется странным, но, насколько нам известно, никто таких попыток еще не предпринимал*.

Наш, в прямом и переносном смысле, пилотный эксперимент был проведен на вулкане Карымский на Камчатке. В вершинном кратере вулкана регулярно происходят небольшие пепловые взрывы. Конус имеет абсолютную высоту около 1540 м и относительную — 800 м. Во время нашей работы, взрывы происходили каждые 5—40 мин. Фонтаны раскаленных бомб выбрасы-

вались на высоту до 0.5 км. Пепловое облако поднималось до 1.5 км над кратером (около 3 км над ур.м.). Регулярность эксплозий делала поведение вулкана достаточно предсказуемым. Безопасное расстояние четко определялось по свежим воронкам на склонах постройки. Только один раз «шальная» 30-килограммовая бомба от очень сильного взрыва заставила немного поволноваться, не долетев до нас всего каких-то 100 м.

Чтобы доставить пробоотборник в пепловое облако, мы применяли воздушные шары, наполненные гелием. Какие-либо более сложные летательные аппараты дороги и, главное, ненадежны в полевых условиях. Управляли шаром при помощи веревки, с максимальной длиной 3 км, которая наматывалась на ручную лебедку. Было задействовано два типа шаров: полиэтиленовый аэростат (исначально «военного» происхождения) и стандартная метеорологическая оболочка из латекса. Каждый носитель вмещал около 5—6 м³ гелия, что обеспечивало подъемную силу около 3 кг.

Использовались две основные схемы запуска: с подветренной стороны от кратера (когда

* Исключение составляют единичные эксперименты по улавливанию в стратосфере вулканических аэрозолей пленочными детекторами, установленными на самолетах и аэростатах. Однако эти эксперименты производились на очень больших расстояниях от вулкана, где облака извержения уже практически не существовали.



Выброс вулкана Карымский 28 июля 2003 г.

шар поднимался в дрейфующее выше пепловое облако) и с наветренной стороны (когда ветер наклонял привязанный шар к кратеру). В первом случае ожидалось, что вулканическое облако будет холодным, с низкой концентрацией пирокластики и не сможет повредить оболочку шара. Низкотемпературный пробоотборник крепился прямо под шаром. Он представлял собой большой (30 л) полиэтиленовый короб с крышкой на резинке, как у мышеловки. При попадании в облако «мышеловка» должна сработать от электронного датчика, сделанного на основе бытового детектора дыма. Во втором случае

предполагалось, что облако будет еще горячим и абразивным. Поэтому шар должен находиться намного выше облака, а пробоотборник висеть на несколько сотен метров ниже, на тонкой нихромовой проволоке. Высокотемпературный пробоотборник объемом 10 л выполнен из металла. При попадании в вулканическое облако он должен срабатывать от простого перегорания нити, удерживающей подпружиненную крышку в открытом положении.

Мы произвели четыре запуска: по два с наветренной и подветренной сторон. Количество запусков жестко ограничивалось имеющимися в наличии шарами и, особенно, запасом гелия, который удалось вертолетом забросить на вулкан. Максимальная высота составила около 2.5 км над точкой запуска, т.е. около 1.8 км над кратером. Первый запуск был осуществлен при помощи военного аэростата. К сожалению, из-за старости, многочисленные его швы стали пропускать сверхтекучий гелий, и он потерял значительную часть подъемной силы к моменту выхода на точку запуска. Во время своего единственного полета аэростат не смог набрать достаточную высоту.

Метеорологические шары были взяты как запасной вариант. Однако они прекрасно держали гелий и обеспечивали необходимую подъемную силу, но оказались недостаточно прочными, чтобы «работать» на привязи при сильном ветре (при штатном применении они свободно дрейфуют в потоке воздуха). Когда скорость ветра достигала нескольких метров в минуту, шары лопались. Но нам везло, во время двух (из трех) осуществленных запусков они достигли высоты, значительно превышающей высоту кратера.

Последний полет оказался самым удачным. Мы уже приобрели опыт и действовали уверенно. Погода стояла идеальная.

Вулкан, как часы, выдавал хорошие пепловые взрывы. Выйдя на точку запуска с наветренной от кратера стороны, мы выпустили шар на всю длину веревки, и он еле видимым пятнышком завис на трехкилометровой высоте. Но несколько сотен метров нихромовой проволоки, на которой висел пробоотборник, блестяли на солнце и хорошо различались.

Нам удалось полностью развернуть всю систему для опробования пеплового облака. Над вулканом словно повисла гигантская удочка, но ее крючок находился немного в стороне, и пробоотборник не попадал в облака взрывов. Подходить с лебедкой ближе к кратеру было опасно — начиналась зона воронок от бомб. Пришлось подождать, пока постепенно усиливающийся ветер наклонит «снасть» ближе к кратеру. Спрятавшись в тени от

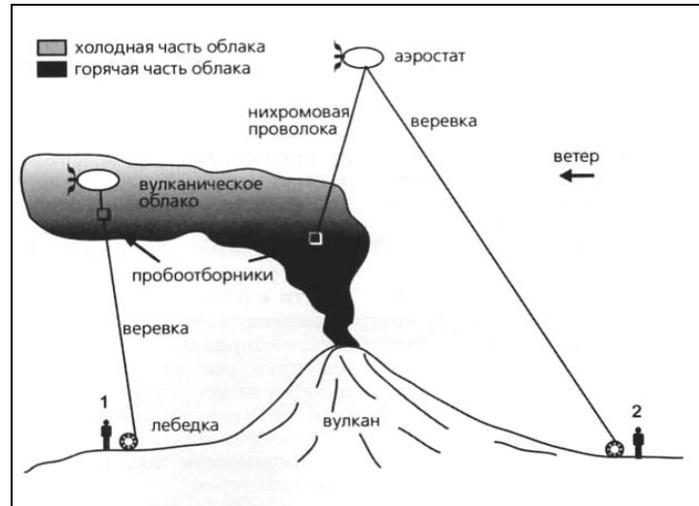


Схема двух способов зондирования вулканического облака с подветренной и наветренной сторон при помощи привязного аэростата



Подготовка запуска привязного аэростата на вулкане Карымский.

не по-камчатски жаркого солнца, мы на мгновение выпустили шар из виду, а когда подняли глаза, шара уже не было на прежнем месте. Пытаясь отыскать шар в голубом небе, мы увидели, как латексные ошметки медленно опускаются на склон вулкана. Итак, стало ясно, что на этот год наши попытки зачерпнуть несколько литров вулканического облака закончились.

Почему последний шар лопнул, непонятно, ветер в тот момент был еще слабый. Скорее всего, оболочка оказалась с дефектом, или мы ее слегка «передули» гелием.

Хотя материал мы так и не отобрали, наша работа показала принципиальную возможность предлагаемого метода. Главная причина неудачи — использование дешевых, тонкостенных шаров, не выдерживавших суровых вулканических условий и разрушавшихся до введения пробоотборника в облако. Но даже с такими шарами мы были очень близки к успеху.

Недавно несколько фирм стали выпускать специальные привязные аэростаты, способные летать при любой скорости ветра. Их использование снимет помешавшие нам в прошлом году препятствия. Проведенный эксперимент позволил приобрести ценнейший опыт по запуску аэростатов на извергающемся вулкане и выяснить, какие усовершенствования надо внести в оборудование для достижения успеха. Очевидно, что зондирование с помощью беспилотных летательных аппаратов может стать эффективным методом изучения вулканических облаков. Мы планируем продолжить эксперименты будущим летом.

Наша работа специально никем не оплачивалась, средства на нее были частично привлечены из наших проектов, посвященных сходным тематикам, финансируемым Российским фондом фундаментальных исследований и фондом Гумбольдта (Германия). Многие люди

поддерживали нас на разных этапах. Сергей Гулёв выделил из своих запасов аэростат. Петр Ключков и Владимир Иванов помогли изготовить пробоотборники. Всеволод Панов добыл остродефицитные на Камчатке баллоны с гелием (в брачном салоне «Венец», которому отдельная благодарность). Мария Кувшинова и Владимир Белюсов героически добрались на грузовом самолете из Москвы до Камчатки, чтобы участвовать в эксперименте (Владимир еще регулярно снабжал нас дичью). Александр Маневич и Дмитрий Кузьмин в свободное от своей работы время помогали при запусках, а также всем своим видом поддерживали веселую атмосферу в коллективе. Всем большое спасибо.

Дополнительные фотографии запусков и извержения вулкана Карымский можно найти в Интернете на нашей странице.