

Некоторые методологические проблемы изучения вулканизма Земли в свете достижений сравнительной планетологии

И.Ф. Делемень

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: delemen@kscnet.ru

Введение

Вступление человечества в космическую эру привело к тому, что с 60-х годов прошлого века начался лавинообразный рост наших знаний о Земле, планетах и других объектах Солнечной системы. Появляется всё больше данных о вулканизме на Марсе, Венере, Меркурии, спутниках планет в Солнечной системе, а также на планетах, которые обнаружены астрономами за пределами нашей планетной системы (экзопланеты).

В изучении планетарных объектов сформировались два научных направления – планетология (Planetology), или общая планетология, занимается изучением космологических аспектов образования планет и спутников, строения их атмосфер, внутренних оболочек и процессов, протекающих на них [2]. Сравнительная планетология занимается уточнением перечисленных выше проблем на основе сравнительного изучения различных планет [6]. В вулканологии же все больше приходит понимание необходимости учитывать при изучении вулканизма Земли подобных процессов на других планетах Солнечной системы, в том числе за пределами нашей планетной системы. Происходит формирование нового направления вулканологии – планетарная вулканологии [3]. Объем доклада не позволяет рассмотреть подробно все аспекты сравнительной планетарной вулканологии. По этим причинам в доклад не включены вопросы магматизма и вулканизма на выявленных астрономами и изучаемых сейчас астрономами многочисленных (более 20 тысяч) внесолнечных объектах – экзопланетах и экзопланетарных системах (ЭПС), не относящихся к землеподобным.

*Основные методологические проблемы планетарной вулканологии обусловлены быстрым наращиванием информации о механизмах образования объектов, входящих в состав нашей Солнечной планетарной системы (СПС), о параметрах планет и особенностях протекания вулканических процессов на них. Меняется само представление о планетах и других объектах СПС и Вселенной. Следует иметь в виду, что практически вся планетарная терминология нормирована и определяется резолюциями Генеральных Ассамблей Международного астрономического союза (ГА МАС). Так, после обнаружения за орбитой Нептуна новых сопоставимых с Плутоном объектов (Кварар и Седна) его перестали считать планетой и отнесли к малым планетам, относящимся к транснептуновым объектам. В соответствии с резолюцией № 5, принятой в 2006 году 26-й ГА МАС, — **планета** — небесное тело, которое: обращается по орбите вокруг Солнца, обладает достаточной гравитацией, чтобы иметь форму, близкую к шару, расчистило окрестности своей орбиты (то есть оно является гравитационной доминантой, и рядом нет других тел сравнимого размера, кроме его собственных спутников или находящихся под его гравитационным воздействием). Но уже в начале прошлого года Международному астрономическому союзу было представлено для утверждения новое, геофизическое определение планеты, согласно которому спутники также относятся к планетам. Теперь **планета** — «субзвёздное гравитирующее тело, в котором никогда не протекали термоядерные реакции, обладающее при этом достаточной гравитацией, чтобы иметь сфероидальную форму,*

которую можно адекватно описать как трёхосный эллипсоид; независимо от параметров его орбиты» [8]. В такой трактовке в Солнечной системе уже насчитывается – более 100 планет, включая Луну, Плутон и другие малые планеты и трансплутоновые объекты. Однако для сравнения вулканических процессов на Земле и других планетах такая трактовка более подходит — следуя ей, появляется возможность отделять землеподобные планеты, которые могут отличаться по размерам, массе и другим параметрам, но с возможностью проявлений различных форм вулканизма на разных этапах их развития, т.к. планеты (по новому определению), объединяет прежде всего геофизические, внутренние свойства небесного тела, а не орбитальные, внешние характеристики. Действительно, спутники Марса, Фобос и Деймос не являются планетами, и никаких признаков вулканизма ни сейчас, ни в прошлом там не обнаружено. На планете *Луна* вулканическая деятельность на ранних стадиях её развития установлена, в последние же годы появляется все больше научных доказательств о продолжающейся флюидной активности на этом спутнике нашей планеты. Другой пример, астероид *Церера*, который в 2006 году был переведен в класс карликовых планет, а сейчас рассматривается как планета. Сейчас же, после исследования Цереры космическим аппаратом Dawn, подтверждены более ранние предположения астрономов о том, что крупнейшая гора этой планеты Ахуна Монс – ледяной криовулкан возрастом от 210 ± 30 до 70 ± 20 млн. лет, до сих пор проявляющий активность. По мнению планетологов, недра вулкана в недавнем прошлом или даже сейчас, оставались достаточно нагретыми для того, чтобы внутри них могла существовать жидкая вода или крепкий рассол. По другим данным, Церера на протяжении всех 4,5 миллиардов лет своего существования оставалась тектонически активной, причем в отличие от планет – спутников планет-гигантов, ни приливные силы, ни иные внешние силы не могли быть источником тектонической активности для неё. Источники энергии находятся внутри самой планеты, при том, что на ней нет признаков субдукции или коллизии – в рисунке тектонических элементов господствуют структуры растяжения. При этом изучение кратерированности Цереры дает основание считать, что её мантия прошла более сложную эволюцию, а неоднородная кора содержит существенно меньше льда, чем считалось ранее [5].

Конвергенция признаков – основная методологическая проблема, с которой сталкиваются специалисты при решении вопросов сравнительной планетарной вулканологии. Являются ли криовулканы, обнаруженные на Церере, или найденные Вояджером-2 на Тритоне, Европе и Ганимеди, спутниках газовых планет-гигантов, а также известные на планетах пояса Койпера? На той же Церере описаны все признаки современного вулканизма, наличие кратера, ледяные аналоги лавовых потоков, поствулканическая флюидная активность, геоморфологические признаки склоновых процессов, кратер, венчающий вершину вулкана на Ахуна Монс, а также вершинные рифты, расходящиеся от кратера. Следовательно, при дистанционных исследованиях планет можно войти в заблуждение в определения типа и причинах вулканизма на конкретных вулканах, если не получить информации о составе вещества. С другой стороны, основываясь только на анализе состава вещества, можно ошибиться в выводах. Яркий пример тому – диагностика предполагаемых окаменелых микроорганизмов в марсианских метеоритах, обнаруженных в Антарктиде. Сходные формы могут образовываться при формировании неорганических травертиновых щитов на выходах термальных источников. Недавно обнаружение на детальных цветных фотографиях Марса идеально окатанной гальки, свидетельствуют о наличии в прошлом потоков воды на этой планете, т.к. эоловые гальки имеют другую окатанность, а при процессах таяния марсианской мерзлоты углекислый газ переходит из состояния сухого льда в газообразную форму. Следовательно вода могла осуществлять водное

питание марсианских гидротермальных систем. Но и на примере образования возможных гидротермальных минералов на других планетах, можно продемонстрировать необходимость комплексной интерпретации, учета всех факторов минералообразования и фациальных условий для избежания ошибок, связанных с конвергенцией генетических признаков.

Так, долгое время причину образования больших количеств обильно покрывающей поверхность планеты, было трудно объяснить. Недавно была опубликована гипотеза [4] о гейзерном происхождении глин, причем в условиях воздействия на минеральный субстрат надкритической воды на поверхности планеты, покрытой раскаленной атмосферой (допускает распространенная сейчас гипотеза *магматического океана*, существовавшего на ранних этапах развития Марса). В свете новых астрономических данных о *землеподобных экзопланетах*, следует признать крайне маловероятными любые концепции существования в прошлом магматического океана на Земле или Марсе, либо магматического океана в недрах Ио – на экзопланетах такие океаны магмы формируются вследствие очень близкого расположения планет около центральной звезды, а не импактных событий. Даже для Меркурия, который по своим параметрам очень близок к *хтоническим экзопланетам* (планетам с сорванной корой или даже с верхней мантией), нет никаких признаков существования в прошлом магматического океана. Впрочем, один из создателей концепции магматического океана Земли на ранних этапах её существования, не распространял эти явления на всю планету, и рассматривает эту проблем только в вероятностном аспекте [1].

Комплексирование методов исследования – единственный путь к устранению проблем, обусловленных неоднозначностью генетической интерпретации в сравнительной планетарной вулканологии. Яркий пример такого подхода – констатация падения в прошлом астероида на планету-спутник Европа только на основании находки дистанционных признаков залегания глин, которые якобы могли образоваться в образовавшейся астроблеме. Диагностика глин – дистанционная, на основе сходства оптических параметров изображения с параметрами минералов глин (слоистых силикатов). Между тем самый простой механизм появления глин на ледяной поверхности коры Европы – выброс активными вулканами Европы выветрелых обломков каменных пород, из-под водного океана.

Неучет необходимости комплексирования методов хорошо виден на примерах обнаружения признаков вулканизма на *землеподобных экзопланетах*. Вулканическими объявляются планеты, в атмосферах которых астрономы спектрометрическими методами обнаруживают присутствие только водорода, или метана, или углекислого газа. Эталон – вулканические газы Земли.

Исследования *Меркурия* дают пример использования данных планетологии для понимания вулканизма Земли. Подавляющая часть поверхности планеты (83) занимает железное ядро, генерирующее слабое магнитное поле. Мантия занимает 17 % объема, а коры практически нет. Геодинамика планеты определяется интенсивными процессами сжатия с образованием надвигов. Помимо реголита, на поверхности местами залегают породы вулканического происхождения и закартированы постройки угасших вулканов. Недавно на изображениях, полученных с космического аппарата Мессенджер, были обнаружены формы современной флюидной активности - зияющие воронки без окружающих валов выбрасываемых из них обломков твердых пород, а вокруг – цветные налеты сублиматов. Раньше считалось, что химический состав крайне разреженной атмосферы Меркурия полностью определяются солнечным ветром. Новые данные позволяют проверить существующие предположения о составе мантийных (интрателлурических) потоков на Земле с составом атмосферы Меркурия, постоянно возобновляемой эмиссией в атмосферу водорода, гелия, кислорода, калия, натрия и

других компонентов меркурианской атмосферы через обнаруженные газовые жерловины. В составе поверхности мантии Меркурия – много серы, что типично для эксгаляций земных вулканов.

Заключение

В XX веке геологи считали Землю уникальной планетой. Только на нашей планете существует жизнь, действующие вулканы, вода, почва и т.д. XXI принес понимание, что наша планета не уникальна, на других планетах всё это может быть. Земля используется как эталон для поиска жизни на других планетах. В проблеме вулканизма тоже многое прояснилось. Так, новые данные сравнительной планетарной вулканологии заставляют нас вкладывать новый смысл в прежнее понимание вулканизма. Магматический вулканизм – всего лишь одна из форм вулканизма. Вулканизм – форма темпломассопереноса флюидов в верхних оболочках планет, включая Землю. Что общего между магмой и водой, газами, жидкой грязью, пространственное перемещение, взаимодействие и преобразования которых определяет весь спектр вулканизма, включая гидровулканизм, ледяные и грязевые вулканы? С реологической точки зрения, все перечисленные вещества, а также магма, являются флюидами. Состояние их характеризуется тем, что при приложении касательных напряжений вещество могут вести себя как флюид, жидкость. Магма при достижении критических значений критерия подобия Деборы [7] (т.е. если время действия внешней силы больше времени релаксации) ведет себя как жидкость.

Пока остается загадкой, почему в настоящее время магматический вулканизм проявлен только на Земле. Впрочем предполагают, что он может быть еще и на Венере, да и не исключено, что обнаружим в будущем на одной из планет – спутников Юпитера или Сатурна. Вода (или признаки её наличия в прошлом) найдена на других планетах. Более-менее проясняется сходство тектонических режимов на Земле и других планетах – обычным явлением является рифтинг и формирование структур растяжения. Для Меркурия и на некоторых других из 100 планет Солнечной системы, рассматриваются механизмы коллизии, являющиеся аналогами и гомологами процессов коллизии на земле. Допускается наличие плит или блокового строения коры планет, и только в одном наша планета остается уникальной – наличие зон субдукции и планетарных вулканических поясов с действующими сейчас вулканами. Почему? Эта проблема еще ждет своего решения.

Список литературы

1. *Добрецов Н.Л.* Глобальная геодинамическая эволюция Земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика. 2010. т. 51. № 6, С. 761–784.
2. *Табиева Д.И.* Планетология. Владикавказ: Изд-во СОГУ, 2015. 232 с.
3. *Planetary volcanism - A study of volcanic activity in the solar system.* Chichester, England, Englewood Cliffs, NJ, Ellis Horwood : Prentice Hall. 1989. 454 p.
4. *Cannon K.M., Parman S.W., Mustard J.F.* Primordial clays on Mars formed beneath a steam or supercritical atmosphere // Nature. 2017. № 552. P. 88-91.
5. *Hiesinger H., Marchi S., Schmedemann N.* Cratering on Ceres: Implications for its crust and evolution // Science. 2016. Vol. 353. Issue 6303. aaf4759. <http://pdfs.semanticscholar.org/9d54/fe9bb8f2b2056bebcef87fa387da92205640.pdf>
6. *Comparative Planetology.* Edited by Cyril Ponnampereuma. Publisher: Elsevier, 2013. 286 p.
7. *Reiner M.* The Deborah Number // Physics today. 1964. № 1. P.62.
8. *Runyon K.D., Stern S.A., Lauer T.R.* A Geophysical Planet definition Lunar and Planetary Science // 2017. Vol. XLVIII. 2 p.