

О ПРИРОДЕ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (Опыт использования принципов синергетического мировидения)

*Когда вам покажется, что цель недостижима,
не изменяйте цель — измените план действий.*
Конфуций

Арсанова Галина Ивановна

В перспективе исследователей не оставляет надежда воздействовать на вулкан, найдя способы вынудить его действовать в силу собственных свойств, но по предложенному «сценарию». Однако, несмотря на изученный богатейший материал по геологии вулканизма, его природа во многом остается загадкой.

Известно несколько попыток создания математических моделей вулканических извержений, претендующих на «простой и понятный», как представляется их авторам, механизм: Слезин, 2001; Давыдов и др., 2005; Мельник и др., 2006; Нечаев, 2013 и др.

Считается, что математическую модель системы можно задать, если введены параметры системы, и понятен закон её эволюции. Однако именно о последнем не приходится говорить в положительном смысле. Например, все вышеупомянутые модели предусматривают как необходимое условие вулканических взрывов существование объемных вулканических очагов на небольших глубинах: 5-7 км, максимум до 15 км. Однако, детальное сравнительное обследование различными методами глубинного строения вулкана Ключевской А. Озеровым [2016] на предмет наличия под ним очагов, этих очагов не выявило, хотя они считаются вероятными по аномалиям скоростей волн [Федотов и др., 2010].

Упрощенное объяснение причин извержений, как оно представляется не вулканологу, с произвольным выбором параметров, вольным толкованием форм, габаритов и свойств глубинных частей вулканических структур чревато ложными выводами, а математические описания таких структур, как они видятся вулканологу, схожи с описаниями геологических химер. Поэтому создание адекватной природе понятийной (содержательной) модели вулканического процесса, продолжает оставаться главной проблемой вулканологии.

Целое \neq сумме частных

Основным методом познания в вулканологии (как и в геологии вообще) является принцип редукции, согласно которому явления любой сложности могут быть полностью объяснены с помощью законов, свойственных явлениям более простым. Но редукция не может объяснить действия сложных природных структур, объектов, конструкции и т.п. целиком, так как ЦЕЛОЕ, как сложный объект, не равно сумме составляющих его частей. Оно не больше и не меньше их; оно качественно иное, с новыми соб-

ственными характеристиками. Причем его отдельные части и те же части, находящиеся вне ЦЕЛОГО, обладают разными свойствами. В ЦЕЛОМ включаются механизмы согласования и корреляции между частями; система усложняется вся целиком, а части иногда уже не могут существовать вне системы. Такой сложный природный объект как вулкан изучается геологами разных специальностей. Фактический материал разносторонне и экстенсивно наращиваются, но его синтез, тем не менее, не стал прорывом в понимании природы вулканизма.

Так в недавней докторской диссертации А.Озрова [2016] – ведущего специалиста отдела Активного вулканизма Камчатского Института вулканологии – собран самый современный материал по крупнейшему действующему вулкану – Ключевской сопке. Его ценность – в опоре на длительные (более 3-х десятков лет лично + данные предыдущих ученых) режимные наблюдения самыми различными геологическими средствами. Установлено что:

- * Все разнообразие расплавов вулкана образуется из исходной высокомагнезиальной базальтовой магмы.

- * Разнообразие расплавов возникает в 35- километровом генеральном магмоводе вулкана;

- * Вулканических очагов под вулканом не зафиксировано;

- * В верхней части вертикального канала извергаемое вещество проявляет себя как газожидкостной поток, имеющий 4 режима истечения, согласующиеся с 4 типами извержений;

- * Вулкан действует как широкополосный генератор землетрясений особого типа, называемых вулканическим дрожанием. Их источник – у поверхности. Условие возбуждения: ток вещества. Отличительные черты: устойчивость и продолжительность, постоянство формы спектров во времени. Физические причины – не ясны.

- * Существуют два уровня сейсмичности под вулканом: поверхностный до 4,8-5 км, и глубинный – 28-31 км. Для последнего характерны длиннопериодные однотипные землетрясения, схожие по форме записи, так называемые *sister events*. Их источник – область под вулканом в форме приплюснутой сферы: $H \sim 4$ км, $D \sim 12$ км, эпицентральная $S \sim 110$ км². *Sister events* исчезают во время извержений и возобновляются при их прекращении.

- * интервал глубин от 31 до 170 км показал себя асейсмичной областью.

Традиционно следующий шаг исследователя – синтез материалов с целью создания гипотезы, объясняющей архитектуру вулкана и механизм его работы, и здесь возникает проблема. Дело не в том, что «картине» недостает «пазлов». Не ясно: какие качества и свойства этих «пазлов» задействованы в конкретной «картине», и как все они между собой связаны.

С одной стороны конструкцию, сложный процесс и т.п. не понять без детального изучения частных, а с другой – сумма даже очень убедитель-

тельных частностей не дает понимания целого. Такое состояние называется кризисным.

Холизм, самоорганизация, синергетика

Чтобы понять ВУЛКАН как ЦЕЛОСТНЫЙ геологический объект полезно поменять познавательную стратегию и в качестве первого шага привести её в соответствие с представлениями современного естествознания. Не отстраняя достижений редукции, но с осознанием её ограниченности, попытаться использовать системный, холистский (holos – целый) подход, то есть посмотреть на вулкан как на *самоорганизующуюся целостность*.

Ядром современного холистского мировидения признается синергетическая парадигма.

Статус синергетики не вполне определен [Чернавский, 2010]. Её оценивают и как картину мира, и как язык современной науки, и как научную парадигму, и как отдельную научную дисциплину. Цель синергетики – выявление общих идей, методов и закономерностей в самых различных областях естествознания о живой и неживой природе. Её определяют как науку о самопроизвольном возникновении и самоподдержании упорядоченных временных и пространственных структур в открытых нелинейных системах различной природы [Князева, Туробов, 2000]. Её объектами являются структуры и совокупности связанных структур, которые могут быть выделены из окружающей природы и сохраняют в течение некоторого времени собственную индивидуальность, то есть частичную или полную независимость от окружающей среды. По сути – синергетика это наука о сложном. Создан ряд монографий и учебников на тему «Концепции современного естествознания», в которые представления о синергетике входят как составная часть. Некоторые учебники и учебные пособия: Лоскутов, Михайлов 1990, 2007; Котельников 2000; Плотинский 2001; Чернавский 2001; Лоскутов 2007; Ермолаев и др.2008; Аруцев и др.2009; Черникова 2011 и много других работ. Основные монографии и статьи: Пригожин, Стенгерс 1986; Эбелинг 1979; Климантович, 1990; Хакен, 1991; Курдюмов 1994; Князева, Курдюмов 1994, 2000, 2002; Глейк, 2001; Капра Фритъоф 2003; Степин, 2009; Николас, Пригожин 2014 и много других работ.

Слово синергетика ввел в оборот Г.Хакен [1991], хотя он, при всех его заслугах в разработке системы понятий и теоретических моделей, описывающих механизмы самоорганизации, был далеко не первым, кто осознал роль целостного подхода. Согласно Г.Хакену структура отражает состояние, возникающее в результате когерентного поведения большого числа частиц, которые её составляют. Г.Хакен исследовал принципы возникновения и самоорганизации структур в системах самой разной природы. "Анализ качеств" был основным и шел прежде анализа чисел.

Термодинамический подход к самоорганизующимся системам осуществила Бельгийская школа И. Пригожина [Пригожин, Стенгерс, 1986 и др. работы авторов]. Она ввела понятие диссипативной структуры (ДС) и разработала теорию ДС – объектов синергетики.

В России становление синергетики осуществлялось параллельно в рамках теории динамических систем и связано с именами А.А. Самарского, В.С. Степина, С.П. Курдюмова, Д.С. Чернавского, Е.Н. Князевой, А.Ю. Лоскутова, А.С. Михайлова и других. Подавляющее большинство сложных природных систем является саморазвивающимися. Свойство «самосборки» можно считать их атрибутом.

Через горизонтальные связи синергетика инкорпорируется в систему геологических знаний, и здесь методически наиболее значима работа П.Горяинова и Г.Иванюка [2001].

Самоорганизующиеся системы наблюдаются как действующие, когда по ним струится ток энергии, или как их останки в виде различных каменных форм. Так характерная столбчатая отдельность есть следствие возникновения в горячем жидком пласте самоорганизующейся структуры, называемой ячейками Бенера. Они самопроизвольно возникают при определенном соотношении температур нижней и верхней частей жидкого слоя.

Геологическое образование ВУЛКАН относится к крупным сложным самовоспроизводящимся объектам в иерархии природных структур. Это открытая, неравновесная, необратимая динамическая система, возникающая в теле планет на определенном этапе их жизни, которая некоторое время действует и развивается, а потом – «умирает».

Синергетика позволяет обнаружить в сложных динамических системах различной природы существование универсальных качественных закономерностей, чем следует пользоваться при исследовании вулканов, принимая во внимание опасность работы, а также то, что исследователь воочию видит только «шляпу» вулканической структуры.

Как известно, представление о том, куда уходят «корни» вулканов, и как устроена Земля ниже подошв самых глубоких скважин, получаются по различным косвенным данным, что ведет к неоднозначности выводов. Достаточно вспомнить расхождение составов пород, прогнозируемых коллективом ведущих геологов страны до бурения, с фактическим керном самой глубокой скважины мира – Кольской сверхглубокой [Козловский, 1984]. Её глубина была всего 12 262 м. В мире пробурено несколько сверхглубоких (более 7 км) скважин, но *ни одна* из них не подтвердила предварительный прогноз [Попов, Кременецкий 1999]. Отсюда множественность и противоречивость геологических гипотез и прогнозов. Опираясь на синергетику, их можно ограничить, исключив те, которые не реализуемы в принципе, что, само по себе, имеет для геологии важное значение.

Пока не дано определения термина «самоорганизация». Суть её как явления – туманна и таинственна, а потому остается одной из важнейших

целей познания [Эбелинг,1979]. Природа – не ясна, но явление – существует, активно изучается, и не учитывать его в системе геологических знаний было бы некорректно. Познавательное освоение сложных саморазвивающихся систем стало определять стратегию переднего края науки [Степин, 2009].

Настоящая работа представляет собой попытку понять вулкан как целостный геологический объект, применив синергетику в большей мере как эвристику с учетом запретов, накладываемых на некоторые несвойственные ДС пути эволюции. Исследование опирается на данные о вулканах, полученные традиционными геологическими методами, а также на достижения современной физики и химии, касающихся состояния материи в условиях высоких плотностей энергий. Перспективная цель: создание понятной модели вулканического процесса как панорамы его жизненного цикла. Однако точку над «i» ввиду сложности проблемы, поставить не придется; важно начать двигаться в синергетическом направлении.

«... стоит попробовать подойти к миру синергетически, проинтерпретировать ... феномены и события с синергетической точки зрения и посмотреть, что получится», предлагают чл.корр.АН, док.физ.-мат.н., С.П. Курдюмов и док.философ.н.Е.Н. Князева [1994].

Попробовать стоит. Тем более, что в свете современных мировоззренческих концепции естествознания пересмотр ряда геологических смыслов представляется неизбежным.

«Возникает новая, более последовательная концепция науки и природы» [Пригожин, Стенгерс, 1986]. Создается новое нелинейное мышление, позволяющее предсказывать неоднозначные пути развития сложных открытых систем и выдвигающие парадоксальные идеи о законах самоорганизации и эволюции мира [Курдюмов,1994; Князева, Курдюмов1994].

Общие представления о диссипативных структурах и их свойствах

*ДС являются сложными образованиями, состоящими из множества разнообразных элементов (частиц, подсистем, структур и т.п.).

*Важнейшей характеристикой ДС является их открытость: энергия течет в них постоянно и они способны к обмену веществом, энергией и информацией непрерывно или дискретно, а также – к различным взаимодействиям.

*ДС локализованы пространственно и по времени, но границы их обычно "размыты", поэтому от среды они изолированы относительно.

*Мера сложности ДС отражает уровень организации материи; развитие структуры идет в направлении необратимого усложнения, как в случае живой, так и неживой природы.

*ДС – когерентны. Временами система ведет себя как единое целое, «как если бы она была вмещением далекодействующих сил». Согласованное поведение элементов системы иногда разом приводит к переходу всей системы в новое состояние.

*Для ДС характерна функциональная и структурная устойчивость и взаимосвязанность: в ответ на изменения во внешней среде система может поменять структуру для того, чтобы функция была выполнена.

*ДС непрерывно адаптируются к внешней среде через усложнение собственной организации, причем идет она за счет собственных внутренних резервов.

*В качестве внутренних резервных механизмов организации ДС выступают меняющиеся свойства системы на микроуровне.

*Развиваясь, ДС понижают уровень своей симметрии.

*Развитие ДС сопровождается нарушением в них принципа суперпозиции. (Сумма частных решений не является решением уравнения).

*ДС присуща иерархия уровневой организации её элементов.

*ДС способны формировать новый порядок и новые процессы с целью поддержания своего гомеостаза.

*Развитие ДС идет нелинейно. При увеличении неравновесности выше некоторого предела, то есть в точке бифуркации, система скачком через пульсации, флуктуации переходит в неустойчивое состояние, реализуя всякий раз новый путь. При бифуркационной модели нет равновеликих, равнозначных причин. Результат выступает как следствие множества причин, поэтому всегда оказывается случайным.

*Развитие ДС сопровождается появлением автоволн, принципы функционирования которых одни и те же, вне зависимости от типа среды, в которой они возникают (физическая, химическая, биологическая, геологическая и т.д.), что открывает уникальную возможность переносить закономерности, установленные в одной активной среде, на широкий класс сред иной физической природы, что очень важно для изучения таких опасных объектов, как вулкан.

Примеры ДС: стая, толпа, сердце, океан, река, смерч, вулкан и т.д.

Вулканическое вещество

Согласно теории ДС, активность материи связана с неравновесными условиями, порождаемыми самой материей, поэтому причины изменения, движения, эволюции и т.п. ДС надо искать в закономерностях их собственного развития. Все ДС возникают на подходящей среде и с ней взаимодействуют, но «живут» по собственным законам. Поэтому, первыми шагами в конструировании понятийной модели активного вулкана, должен быть анализ трансформаций вулканического вещества, коль скоро именно оно определяет процесс самоорганизации вулкана как геологического объекта.

Вулканическое вещество исследователь получает в руки полностью или частично остывшим уже на поверхности, в двух-трех агрегатных состояниях, разных по химическому составу: жидкие или пластичные, твердые на глазах, силикаты, (лавы, туфы, пемзы, пепел и т.п.) и, так называемые, летучие: вода и газы, из которых вода составляет 90-97 %. Во

время извержений летучие в основной массе уносятся в атмосферу. Часть их сбрасываются силикатами при кристаллизации, а также оформляется на остывающих лавах как минералы-возгоны разного состава, другая часть – фиксируется в самих силикатах как газовые включения. В межпараксизмальный период они часто поступают сквозь трещины пород кратера.

Сделано огромное количество анализов вулканических веществ, собранных на поверхности, и они дают представление о том, какие элементы поднимается по вулканическому каналу с глубин и в какие химические соединения они оказываются связанными наверху. Однако, даже если бы удалось всё извергнутое вещество собрать, смешать, нагреть и воздействовать на него высоким давлением, то оно не превратилось бы в вещество, поднимающиеся по вулканическому каналу со всеми его специфическими свойствами и структурой из-за известной *необратимости*, свойственной природным процессам. РТ- path в природе – дорога в одну сторону. Понятие о необратимости является одним из основных в современной натурфилософии [Чернавский, 2001; Пригожин, Стенгерс, 1986; Эбелинг, 1979 и много др. работ]. Обратимость свойство замкнутых систем, а природные системы постоянно обмениваются со средой энергией, информацией и веществом, то есть относятся к системам открытым. Необратимость играет в природе фундаментальную роль [Николис, Пригожин, 2014]. Поэтому почти традиционное привлечение в геологии рециклингов, как способа возрождения вещества через погружение, нагрев, переплавление и т.п. с последующим извержением через вулканы или горячие источники требует критического переосмысления.

Каждый из выброшенных на поверхность вулканических продуктов обладает своими собственными свойствами, которые мы в состоянии постичь, но канальная субстанция, из которой они образовались, суммой этих свойств не обладала. Находясь на глубине, она имела иные специфические качества, которые неизбежно и последовательно менялись с подъемом. Однако ныне про вулканическое вещество, существующие на уровне вулканического канала и глубже, обычно говорят, как о расплаве, в котором возможны закристаллизовавшиеся минералы; состояния воды и газов принято считать растворенными в этом расплаве.

Свойства силикатов в условиях повышенных Р и Т изучает экспериментальная геохимия [Граменицкий и др. 2000 (учебник) и др. работы]. В последние десятилетия, в связи с использованием в технике различных газов в сверхкритических состояниях, их стали активно исследовать для нужд промышленности, и создан специальный журнал «Сверхкритические флюиды: теория и практика». Опираясь на эти и другие материалы, можно более определенно судить о свойствах глубинных флюидов и их взаимоотношениях с расплавом силикатов.

О свойствах флюидов и связанных с ними геологических явлениях

В геологии определения флюидный, флюид – размыты. В химии и физике флюид означает фазу состояния вещества. В данной работе он используется в последнем значении. Флюиды могут быть разными по составу: водный, углекислый и т.д. Они представляют собой гомогенные вещества, существующие только при очень высоких P и T , а их флюидное состояние наступает с переходом критических, своих для каждого вещества, значений. Для воды $T_{кр.}=374\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{кр.}=218\text{ бар}$; для CO_2 $T_{кр.}=31\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{кр.}=73\text{ бар}$.

В нефтедобыче вещества во флюидной фазе называют сверхкритическими растворителями [Филенко и др.2011].

В фазе флюидов вещества обладают особыми свойствами. Как пар по свойствам отличается от льда, так водный флюид отличается от их обоих. Изучать свойства флюидов с высокими значениями их критических точек достаточно сложно, поэтому известно о них не слишком много. Для понимания геологических процессов важны такие установленные качества флюидов как их высокая подвижность, обусловленная непрерывно меняющимся движением молекул [Соболева 2013], низкая вязкость, способность сжиматься (свойственная газам), эффективная растворяющая способность (свойственная жидкостям, но газам не свойственная, которая к тому же контролируется давлением), очень низкое поверхностное натяжения и очень высокая диффузия.

Наблюдая природные феномены, важно учитывать, что состояние (и, стало быть, свойства) воды в условиях выше критических параметров не только значительно отличаются от её состояния (и, стало быть, поведения) до них, но еще и в большей мере, чем для других веществ. Если при нормальных P и T вода является полярным растворителем, то в сверхкритическом состоянии, она превращается в практически неполярную среду и становится сильнейшим окислителем. Растет ее диэлектрическая проницаемость, электропроводность, ионное произведение, меняется структура водородных связей. Для вулканологии особо значимо свойство водного флюида хорошо растворять в себе газы и транспортировать их компактным способом. (В горячей жидкой воде газы не растворяются.) Флюид принимает в себя и переносит вещества, практически нерастворимые в обычных условиях: силикаты, оксиды, сульфиды и другие. Даже небольшие отклонения T и P меняют его физико-химические характеристики, и у него появляются селективные свойства. При снижении давления, сопровождающегося переходом через критическую точку, растворимость твердых веществ падает, и они переходят в твердое состояние [Жузе, 1981; Леменовский, Баграташвили,1999; Галкин, Лунин, 2005; Залепугин и др. 2006; Горбатый, Бондаренко 2007. и др. работы].

Зная свойства воды в разных её фазах (то есть – предвидя её поведение при разных параметрах), можно по наблюдаемому геологическому явле-

нию определить фазу участвующей в нем воды и догадаться о её источнике, что будет показано на примерах ниже.

Как известно количество воды, которая может присутствовать в магме, ныне ограничивают её растворимостью согласно экспериментальным данным, то есть первыми процентами. Но наблюдения извержений, особенно некоторых их типов, сопровождаются столь огромным выбросом H_2O , что вынуждает предполагать присутствие в составе канального вещества воды и в иной, помимо растворенной, форме. Формой, подходящей случаю, может быть водный флюид. При высоких параметрах P и T присутствие в одном объеме жидких силикатов с растворенной водой и водного флюида с растворенными силикатами отвечает свойствам и флюида и расплава. Общая структура этой канальной субстанции не вполне ясна; скорее всего, вещества сосуществуют как смесь в виде протяженных молекулярных кластеров. За счет флюидов такая субстанция будет обладать пониженной по сравнению с просто силикатным расплавом вязкостью, что положительно скажется на её мобильности.

Упомянутые выше математические модели мощных вулканических взрывов объясняют их накоплением в апикальной части вулканического канала диффундирующих через расплав газов как единственной формы летучих. Существование флюидной фазы этими работами не рассматривается, а процесс извержения сводится «к описанию потока дегазирующей магмы в канале вулкана под действием перепада давлений» [Слэзин, 2001]

Но вулканические взрывы могут быть следствием фазового перехода «флюид – газ». Спусковым крючком здесь служит падение P (или T) ниже критических для существования водного флюида как основного среди флюидов. Внешне процесс подобен «закипанию» вулканического материала (смеси расплава с флюидом) на участке канала. Расплав дробится возникающими из флюида газами, общий объем стремительно растет, происходит взрыв и выброс порции магмы, диспергированной от бомб до пеплов. Механизм не требует очага как места накопления газов. Газы возникают, находясь в смеси с расплавом и «наследуя» место флюида, который ранее с расплавом смешался.

Иногда люди оказывались свидетелями рождения вулкана «на чистом» месте. Так «повезло» вулкану Хорулло (1759г) и вулкану Парикутин (1943г) в Мексике, а также Большому Трещинному Толбачинскому извержению на Камчатке в 1975г, поскольку оно было еще и предсказано [Федотов, 1984]. Рождение начинается с предваряющих землетрясений и, иногда, – гула. Затем участок воздымается и возникает трещина, из которой первыми являются белые пары; затем темные выбросы пепла. Пеплы наращивают конус. Лава является чуть позже. С подъемом наклон пластов меняется в сторону от рождающегося вулкана: если холодные воды были, то они уйдут на периферию. Если соприкосновение холодной воды с магмой всё-таки состоялось, то магма мгновенно превращает её в пар, давление

резко увеличивается и подступающие новые порции воды отбрасываются, создавая вокруг растущей постройки область просушки. Поэтому пары, видимые при рождении вулкана, по своему происхождению, как правило, – глубинная извергаемая вода. В канале она существует как растворенная, но более мобильна и значима вода, присутствующая в форме водного флюида. Обе формы своим наличием снижают вязкость расплава, но флюид еще и диспергирует расплав в пепел, превращая материал в мобильную псевдооживленную массу: имея очень низкое поверхностное натяжение, флюид обволакивает пепловые частицы, глубоко диффундируя в их внутренние полости. Но как только флюид становится жидкостью, резко увеличивается поверхностное натяжение, остроугольные частицы пепла прижимаются друг к другу, и весь материал превращается в плотный пласт, похожий на обычный песок.

Вероятно, диспергирование магм флюидом с обволакиванием частиц является способом природной ликвидации непроходимостей канала. Пеплообразование сопровождается извержениями всех видов, и его можно считать показателем участия в извержении воды во флюидной фазе. Очевидцы показывают, что вблизи извергающихся вулканов свежие пеплы падают мокрыми и даже горячими, и идут теплые дожди. По свидетельству женщины, бывшей на судне в бухте, непосредственно после параксимального взрыва вулкана Мон Пеле 08.05.1902 «на нас повалил горячий влажный пепел». Люди, попавшие под извержение вулкана Тааль 30.01.1911, вспоминают: «Полминуты шел легкий теплый дождь...». Теплые дожди знакомы вулканологам, работающим вблизи извержений. Этой водой не может быть конденсировавшаяся на частичках пепла атмосферная влага, так как пепел теплее атмосферных паров. На частичках пепла оказывается глубинная H_2O , которая ранее была обволакивающим эти частички водным флюидом.

В кислом вулканизме наряду с выбросами пепла, регистрируются и предваряющие основной взрыв огромные поступления жидкой воды. За 2 недели до катастрофического взрыва 08.05.1902 на вершине вулкана Мон-Пеле «возникли струи пара», а еще через два дня кратер наполнился кипящим озером шириной до 200 м, рядом с которым заработал десятиметровый фонтан кипящей воды.

Этой водой не может быть нагретая вадозная. С расплавом силикатов смешивается водный флюид, но не жидкая вода или пар. Нагрев холодной воды до состояния флюида в приповерхностных условиях не возможен физически. Для превращения во флюид холодная вода должна нагреться и одновременно быть сжатой выше своих критических параметров, что невозможно без замкнутого пространства. Но для соприкосновения с магмой пространство для движения должно быть открыто. Потоки холодной воды и отток нагретой должны быть организованы как в теплообменнике, сооружение которых не приходится требовать от природы. Если же представить себе, что холодная вода «залилась» в открытый кратер, как в стакан,

то она там и останется, так как давление в канале выше. Далее можно допустить два варианта: вулкан просыпается постепенно, нагревает воду, и она мирно выкипает. Если вулкан просыпается резко, то эта вода будет стремительно выброшена. Так вулкан Келуд (Ява), взорвавшись 19.05.1919 разом подбросил всю воду кратерного озера, которая взметнулось и обрушилось на склоны вулкана, погубив (потопив), порядка 6 тыс жителей равнин у подножия горы мощным лахаром. (Но, не сжигая их, как было бы в случае палящей тучи.)

Даже смешаться в динамичном режиме холодной воде с горячей эндогенной добавкой едва ли удастся. Наблюдения контактирующих в природе вод показывают, что они очень долго хранят свою индивидуальность. Не смешиваются теплые воды Гольфстрима со своими водными «берегами», горячие растворы дна Красного моря с окружающими водами и т.д., уже не говоря о несоответствии составов вод холодной и якобы нагретой [Арсанова, 1974]. Примеров масса. Причина несмешения состоит, вероятно, в том, что все эти водные объекты представляют собой различные природные ДС, и как таковые, они блюдут свою относительную изолированность собственными средствами. (У жидкой воды высочайшее поверхностное натяжение; больше – только у ртути.) Вопрос очень важный, ввиду распространённости среди геологов заблуждений относительно очевидности нагрева и смешения в динамическом режиме различных природных вод.

Флюид не просто помогает вязким магмам дойти до поверхности: отношение флюид/расплав вулканического материала определяет сам характер извержения.

В 1962 году Г. Горшков, будучи на вулкане Катмай в Долине Десяти Тысяч Дымов вместе с Г.Тазиевым [1979], задался вопросом о разнице извержений похожих вулканов: камчатского Безымянный и аляскинского Катмай. Отложения вулкана Безымянный представлены конгломератом из кусков пород разных размеров, а на вулкане Катмай – игнимбритами. По мнению Г.Тазиева, возникшие после взрыва 06.06.1912 вулкана Катмай «Дымы» Долины, представляют собой нагретые воды местной речной сети. Изобилие поверхностных вод есть и на Аляске и на Камчатке, но Долины Десяти Тысяч Дымов в связи с камчатским вулканом не возникло. Почему?

Сравнение физических свойств флюида, пара, извергнутого материала и «дымов» делает ответ однозначным. (Однако сделать это в то время было невозможно из-за отсутствия данных о свойствах флюидов). Поверхностные холодные воды не участвовали в создании Долины. Её создал и поддерживал несколько лет, извергающийся *прямо со склонов* глубинный водный флюид. Его же свойствами объясняются и боковые, косые взрывы.

Знание свойств флюида помогает понять вулканизм феноменологически. Водный флюид извергается с температурой не ниже температуры магм, то есть порядка 1000⁰С. Его плотность (в кр.т.) в три раза меньше плотности жидкой воды. Имея пренебрежимо низкое поверхностное натя-

жение, он всё обволакивает и скользит по склонам почти без трения. Отсюда стремительность палящих туч. Опаляются поверхности ему перпендикулярные, но «в тени» остаются местечки, почти не затронутые огнем. Так на вулкане Мон-Пеле остался целым платок, зажатый в руках у опаленного с поверхности человека, и посуда на столе у губернатора осталась целой, хотя рядом тела двух человек почернели. Флюидный поток может спечь различные частицы в игнимбриты, но для этого недостаточно одного его «выдоха». Действие флюида должно быть подольше, что и было на вулкане Катмай. Разница извержений – в количестве и длительности извергаемого водного флюида: на Безымянном его было значительно меньше, и создать камчатскую Долину Десяти Тысяч Дымов было не из чего.

В общем случае: при высоком отношении флюида к силикатам флюид может извергаться почти без магм. Его свойства позволяют ему проникать в мельчайшие трещинки канала и далее – в рыхлые породы вулканического конуса. Он ослабляет трение, которым удерживается насыпной материал конуса: начинаются оползни и обвалы. Они наблюдались на вулканах Безымянный и Шивелуч [Белоусов, 2006], на вулкане Ламингтон (Новая Гвинея) перед извержением 21.01.1951 г и во многих других случаях. Отсюда же боковые прорывы, направленные взрывы и извергаемые прямо со склонов потоки палящих туч. Так было на вулкане Тааль (Филлипины) во время сильнейшего извержения 30.01.1911 г. Вулкан «выбрасывал из *кратеров на склонах горы* не лаву, а массы белого раскаленного пепла и «перегретого» пара». Направленность взрывов здесь определяется не наклоном подводящего канала, как ранее считалось, но крепостью склонов постройки в сочетании со свойствами самого флюида.

Особенность водного флюида находится в метастабильном состоянии и одновременно в двух фазах приводит к отравлению людей вулканическими газами на склонах много ниже кратера. Если бы вулкан на уровне кратера извергал отравляющие вещества только в газовой фазе, то они сразу бы уходили вертикально вверх. Но рождение палящей тучи – работа флюида, который способен удерживать газы растворенными. Только скатившись вниз, он меняет фазу; здесь все газы освобождаются и травят всё живое.

Оставшиеся в живых после извержения вулканов Мон-Пеле и Ламингтона люди описывали следующую последовательность симптомов отравления газами: боль во рту, горле и глазах, жжение в груди, животе и, наконец, стремительное удушье. Тела погибших затвердевают из-за свертывания белков в мускульных тканях.

И еще одна интересная особенность выброшенного материала: он долго остывает. Экзотермические реакции, скорее всего, объясняются завершением перестройки вещества, которая с неизбежностью должна идти в канале как ответ на его перемещение из области высоких плотностей энергии в область «нормальных». Явление подмечено как на Камчатских [Федотов, 1984] так и на других вулканах. Попытки объяснить явление реак-

циями раскаленного вулканического вещества с воздухом едва ли состоятельны, так как для этого надо, как минимум, принять вектор теплопереноса в направлении, обратном установленному теплофизикой [учебник: Суслов, 2008].

Приведенный материал говорит о свойствах извергаемого вещества на верхних уровнях вулканических каналов, но на еще больших глубинах, куда уходят «корни» вулканов, и еще глубже – они такими же быть не могут, так как с увеличением P и T меняется само строение материи и, следовательно, её физические свойства.

О состоянии и составе вещества больших глубин

В основе представлений о глубинном строении Земли лежат инструментальные геофизические методы по измерению различных физических параметров и прежде всего по разнице скоростей сейсмических волн. Этим методом выделено несколько геосфер и продолжается их детализация. Сделано много попыток сопоставления геофизических данных с составом вещества. Как вероятностные предложены модели геосфер пиролитового и пиклогитового составов, а также объяснения скачка в скоростях сейсмических волн на глубине 410 км структурной перестройкой пироксен – гранат. Доказана высочайшая устойчивость Mg-перовскита и стишовита [Пуцаровские Д. и Ю., 1998; Стишов, 1991]. Однако устойчивость минеральной молекулы еще не доказывает её присутствия на больших глубинах; гипотетичность предложенных моделей слишком высока.

Прямое сопоставление геофизических аномалий с составом по результатам бурения глубоких (7-12 км) скважин [Попов, Кременецкий, 1999] показало, что волновая картина, фиксируемая сейсмическими методами, не отражает изменение состава.

Системное изучение состояния материи в экстремальных условиях ведут физики, работающие в области конденсированных состояний вещества, и за последние несколько десятков лет ими были получены новые и достаточно надежные (по оценке В. Фортова [2009]) сведения, которые способны корректировать представления о Земных недрах.

При экстремально высоких параметрах P и T структура материи кардинально меняется: она последовательно теряет молекулярную форму. Плотность энергии воздействия постепенно становится соизмеримой с энергией электронных оболочек. Они деформируются, перестраиваются, начинают более регулярно заполнять уровни; при этом часть электронов оказывается вытесненной. Молекулярные комплексы, определяющие химические связи, – разрушаются. Материя переходит в атомарное состояние. После серии полиморфных переходов кристаллическая решетка становится плотно упакованной объемно центрированной кубической, а свободные объединившиеся электроны превращаются в нечто похожее (по аналогии с металлами) на «электронную жидкость». Такова общая схема.

Область экстремальных состояний – неоднородна; есть переходы между экстремальными состояниями разных плотностей, но общая тенденция едина. Следовательно, молекулярные формы – силикаты, вода, углекислый газ и т.д. – с погружением последовательно *перестают существовать*, а свойства вновь образующихся веществ нам почти не знакомы.

Реакции, идущие в области сверхкритических параметров и их промежуточные продукты не просто сложны – они принципиально другие. По мнению химиков, работающих с веществом в сверхкритическом состоянии, их невозможно предсказывать, настолько они необычны [Лементовский и др., 2006]. О ненадежности экстраполяции в область высоких давлений предостерегал физик В.Фортов [2007, стр.357], а так же геолог И. Яницкий [2005]. Объяснять переход структуры материи от молекулярной к атомарной, изменения её упругих и других констант по аналогии с реакциями в обычных условиях – некорректно априори: их ход и результат этими реакциями не аппроксимируются.

При еще более высоком давлении неустойчивыми становятся сами атомы, а затем их ядерные оболочки, нуклоны и другие частицы [Киржниц, 1971; Фортов, 2007], но в Земных недрах до такого глубокого уровня перестройки дело не доходит. Параметры в центре Земли: P – 3,6 Мбар; T – 6000° K. Они недостаточны для достижения *полностью* универсального состояния вещества (его нижняя граница соответствует температуре порядка 10^5 K и давлению порядка 10^2 Мбар [Киржниц 1971, Фортов, 2007]), но и вещества в привычной электронно-ядерной форме на глубинах Земли находиться уже не может. Большая часть тела Земли приходится на область переходных смешанных форм состояний и неоднородностей этих состояний. (Что-то вроде смеси молекул и атомов?). Карты сейсмических аномалий для разных уровней планеты [Пушаровские Д. и Ю., 1998, стр.117] скорей всего это и отражают.

Перестройка материи на микроуровне в условиях эксперимента начинается при давлении выше 0,5 Мбар [Фортов, 2009], что соответствует согласно расчетам глубине ~1100 км. Правда, время воздействия метода алмазной наковальни очень мало 10^{-6} - 10^{-9} сек [Фортов, 2007].

Если представления физиков – верны, то ожидаемо, что первыми с глубиной свою химическую индивидуальность должны потерять молекулы и ионы с первыми минимальными потенциалами ионизации, то есть щелочные элементы, и лидировать среди них должен цезий как элемент с его самым минимальным значением. Геохимические данные показывают, что именно щелочные элементы особым образом «засветились» в вулканическом процессе. Они одни (Na/K~10), почти без катионов другой валентности, представляют катионную часть глубинного водного флюида, и именно цезия там оказалось особенно много [Арсанова, 2013, 2016]. В анионной части – почти один хлор. Минерализация 1,5–4 г/л. Все редкие щелочи присутствуют в глубинном флюиде как микрокомпоненты с ха-

рактрным соотношением Li:Rb:Cs (по массе) ~ как 10:1:1. Содержания в мг/л: Li 3–4; Rb 0,2–0,3; Cs 0,3–0,4. Для цезия это ураганные содержания и, принимая во внимание особенности его геохимии, их можно считать индикатором глубинности.

В свете вышеизложенных данных особое внимание привлекает природа астеносферы, которую называют волноводом верхней мантии. Её верхняя граница находится под материками по различным данным на глубине



~ 120 км, под океанами ~ 50 км. Нижняя граница проходит на глубине ~ 400 км. Слой обладает нерезкими границами, неравномерен по мощности, а в некоторых местах вероятно отсутствует. Для него характерна пониженная скорость сейсмических волн и повышенная электропроводность. Его вязкость $\sim 10^{19}$ – 10^{21} пуаз, в то время как над и под ним она на 3–5 порядков выше.

Свойства слоя дают основания предполагать, что астеносфера есть первый глубинный уровень Земли, где плотность энергий достигает уровня ионизации атомов с самым низким его значением, хотя рассчитанное давление на уровне астеносферы еще не столь велико. По свойствам слоя можно предположить, что здесь материя частично переходит в электронно-ионно-плазменное состояние. А электронно-ионная плазма не бывает термодинамически равновесной [Чернавский, 2001, часть 2.2]. В ней возникают нестационарные гидродинамические явления – появляются различные типы неустойчивых волн, течения и перемешивание [Киржниц, 2006, Фортов, 2009].

Выводы из вышеприведенных представлений физиков о структуре материи в области высоких плотностей энергий делают весьма сомнительными геологические гипотезы, основанные на вертикальном перемещении вещества в электронно-ядерной форме: плотностная конвекция, подъемы плюмов, потоки флюидизированных систем. Но существование потока обобществленных электронов («электронная жидкость») в этом пространстве, вероятно правомерно, причем у него есть свойство проникать сквозь вещество [Киржниц, 2006].

Логично предположить, что именно электронные потоки фиксируются как плюмы, хотя нельзя отрицать, что ими могут оказаться и иные объекты субъядерной физики. Возможно, поток электронов ответственен за электрические и магнитные свойства Земли как планеты, и за электрические явления при извержениях.

Другой вывод из материалов физиков состоит в том, что представляется более вероятным искать причины геосфер в состоянии вещества, чем в составе.

По-видимому, дальнейшее познание природы глубоких Земных недр пойдет через анализ взаимодействия частиц в микромире и изучение физических свойств материи в условиях давлений мегабарного диапазона.

Место рождения вулканов

Предположение о локализации «корней» вулканов на глубине порядка 60 км в районе верхней мантии было впервые высказано Г.Горшковым [1956] на основании сейсмических материалов по вулкану Ключевской и подтверждалось позже геофизическими данными «Действующие вулканы Камчатки»[1991].

Указание на это место, по-видимому, подтверждается состоянием и составом выброшенного вулканического вещества, что еще не вполне осмысленно. А именно: (1) низким рН конденсатов вулканических «дымов», (2) реликтовыми моноатомными минеральными формами углерода (графит, алмаз) и самородных металлов (Fe, Al, Cu, Zn, Sb, Au) [Карпов и др.2014], [Гордеев и др. 2014], а также (3)явлением «голубого газа», наблюдавшегося в периоды повышенной активизации вулкана Толбачик [Федотов,1984] и очень похожего на плазму.

Очевидно, что вулканы возникают потому, что их видимые структуры являются поверхностным проявлением каких-то обязательных в ходе эволюции космических тел глубинных процессов. Сейчас уже широко известно, что следы былой вулканической активности есть на ближайших планетах: на Меркурии, Венере, Марсе, на спутниках Юпитера, Сатурна. На Марсе активный вулканизм был совсем недавно, но ныне не наблюдается, как нет и воды на поверхности, хотя вулканические постройки и рельеф, оставленный водными потоками, всё еще хорошо видны. На спутнике Юпитера Ио удалось наблюдать само извержение.

Однако следов плитовой тектоники на ближайших планетах обнаружено не было и это свидетельствует о том, что вулканизм, как планетарное

явление, с плитовой тектоникой не связан. Состав реального вулканического вещества не отвечает переплавленным океаническим илам, а так же не согласуется с содержаниями такого глубинного маркера, как цезий [Арсанова, 2013, 2016]. Им не соответствует состав лав Ключевского вулкана [Kersting A.B., Arculus R.J., ссылка по А.Озерову, 2016 стр.99].

Вулканы возникают как-то иначе.

Традиционно в рамках линейной причинности принято искать внешние силы, заставляющие среду принимать те или иные формы и структуры. В теории тектоники плит вулканизм рассматривается как следствие субдукции, а причину поступления («выдавливания») магмы на поверхность через жерла вулканов многие геологи видят в давлении вышележащих пород коры. В упоминаемой выше диссертации А.Озерова [2016] причины появления волн двух типов – дрожания и *sister events* – тоже ищутся вовне. (И не находятся.). Сборник «Вихри в геологических процессах» [2004] весь (порядка 20 статей) пронизан поиском физически обоснованных механизмов внешних причин образования вихрей и признанием того, что удовлетворительная причина не найдена.

Но если рассматривать вулкан не как «неоднородность литосферы», а как диссипативную структуру, то автоволны – её порождение. *Sister events* очень похожи на спиральные автоволны, которые представляют собой главный тип элементарных самоподдерживающихся структур [Лоскутов, Михайлов 1990; Лоскутов, 2007; Слепнев, Вадивасова, 2012 и др.].

Как выяснилось в последние десятилетия трудами специалистов, изучающих природную самоорганизацию, существуют собственные внутренние закономерности развития сред, приводящие к образованию различных, в том числе и геологических, структур. Среда возвращает на своем теле то, что соответствует ее собственным природным тенденциям – так называемые диссипативные структуры (ДС). Они сами без помощи извне возникают и поддерживают себя в далеком от равновесия, но устойчивом состоянии. То, что ранее воспринималось, как косная материя, «вдруг обретает» что-то похожее на самостоятельность. «Материя более не пассивная субстанция, описываемая в рамках механистической картины мира, ей также свойственна спонтанная активность» [Пригожин, Стенгерс, 1986].

Или другими словами. Разница в подходе состоит в том, что традиционно ищутся силы, воздействующие на вещество, которое, подчиняясь, принимает те или иные формы. А с позиций синергетики – ищутся среды для возникновения ДС, обладающих теми или иными свойствами.

Основными проявлениями самоорганизации в открытых нелинейных системах является возникновение локализованных форм и процессов в виде солитонов, автоволн и диссипативных структур. Не только частицы, но и состояния среды могут существовать и переноситься в виде волн, имеющих жесткую пространственную структуру.

Если согласно классической физике, система всегда развивается в сторону стационарного состояния, где генерация энтропии сведена к минимуму, то для ДС, чем система дальше от равновесия, тем сильнее её энергетические потоки. Она не стремится к равновесию и может впасть в неустойчивость, которая еще дальше отодвигает её от равновесия и через флуктуацию выводит к новым формам порядка. Характеристики ДС не вытекают из свойств ее частей; они обусловлены её «сверхмолекулярной организацией» [Пригожин, Стенгерс, 1986]. Именно по этой причине не удастся сложить убедительную «картинку» из вполне достоверных отдельных «пазлов».

Необходимо научиться анализировать ЦЕЛОЕ. Современная синергетика не дает методики как алгоритма. Осознавая уязвимость для критики нижеизложенного способа понять вулкан как ЦЕЛОЕ, автор, тем не менее, рискует такую попытку предпринять.

Почему вулканизм как явление возникает на планетах? Возникнув, какое-то время «живет», а затем прекращается? Рождаться и умирать – есть характерная черта ДС. Вулканизм планет и отдельные вулканы в этом смысле ведут себя «по правилам» ДС.

Процессы образования новых структур, согласно положениям синергетики, подчинены неким всеобщим закономерностям. Чтобы их понять, надо отбросить детали и изучать «не деревья, но лес». Не исследовать правила, определяющие действия элементов системы, а смотреть на общие законы, по которым формируется структура, если угодно – на эталонные формы, потому что Природа, «перебрав» их разнообразие, «остановилась» на некоторых *разрешенных*. С ними следует сопоставлять исследуемый случай.

Подход можно назвать эвристическим. Если алгоритмы детерминируют действия и в случае их выполнения гарантируют успех в решении задач соответствующего типа, то эвристики лишь задают стратегии и тактики наиболее вероятных направлений поиска.

Итак, вулкан как ДС может возникнуть только на подходящей среде и сначала на микроуровне, причем причиной его рождения будут свойства этой среды. Среда, согласно общим условиям рождения любой ДС, должна характеризоваться огромным количеством различных сложных частиц, пребывающих в неорганизованном возбужденном состоянии. Роль внешних сил – в создании условий для появления такой среды.

В качестве среды для рождения ДС-вулкан наиболее подходит астеносфера, как место, где вещество или его часть теряет свое молекулярное состояние. Выше астеносферы подходящих условий не создается – давление еще недостаточно для «слома» молекул и отрыва валентных электронов, поэтому различных активных радикалов еще не возникает.

Процесс диссоциации и ионизации молекул под действием высокого давления протекает через промежуточные формы ионов-фрагментов материнской молекулы [Завилопуло и др. 2005], что обеспечивает не только

большое количество, но и большое разнообразие видов частиц. Возникает активная, возбужденная, хаотичная среда, которая и отвечает необходимым условием рождения ДС. Структура вырастает из множества случайностей и малых движений на хаотической подложке [Пригожин, Стенгерс, 1986].

Появившись, «зародыши» ДС начинают конкурировать друг с другом, поглощая друг друга, вырастая и выходя на макроуровень, то есть осуществляя кооперативный процесс по законам ДС: выживают те из них, которые производят энтропию с наибольшей скоростью. Сложные структуры образуются ступенчато из более простых путем самоорганизации [Хакен, 1991]. Математические модели, исследующие хаотическое движение, показывают, что подобного рода явления обязательны на всех средах [Лоскутов, Михайлов, 2007].

Деструктивные и конструктивные свойства хаоса на микроуровне определяют механизмы самоорганизации на макроуровне. Наступает момент, когда количество всевозможных перемен переходит в качество, и процесс локализуется на среде в виде макроструктур определенной формы. Наиболее вероятно, что ими окажутся *спиральные волны*, потому что они представляют собой главный тип элементарных самоподдерживающихся и очень устойчивых структур в возбудимых средах [Лоскутов, Михайлов 2007].

Небиологические системы обладают своей спецификой: элементы, из которых они состоят, являются пассивными – для каждого из них, как и для системы в целом, существует выделенное равновесное состояние с минимумом энергии, достигнув которое, система уже не способна самостоятельно его покинуть. Но самоподдержание может обеспечиваться возникновением нелинейных объемных стоков [Курдюмов, 1994]. То есть чтобы «жить», ДС должна осуществлять вынос вещества. «Выгорая» подшва структуры, опускается глубже, где на микроуровне в процесс «высвобождения» электронов, вовлекаются атомы и ионы с более высокими потенциалами ионизации. Но с какого-то уровня положение меняется. Давление так изменяет свойства среды, что она становится непригодной для «рождения и проживания» ДС того вида, который образуется на астеносфере. Возможно, этим объясняется ограниченное время существования вулканизма.

Глубина, где создаются условия для возникновения ДС, судя по всему, совпадает с «корнями» вулканов согласно традиционным геологическим методам.

Родившейся на астеносфере и существующей в условиях конкурентной борьбы ДС еще предстоит «проткнуть» много километров каменной коры и выбросить вещество астеносферы на поверхность планеты. То есть у неё должно быть соответствующее свойство, чему должна соответствовать её структура. Что может представлять собой её «конструкция»?

Не удивительно, что ДС живой природы (слон это или *Helicobacter Pylori*) имеют цель, но оказывается нечто, похожее на целеполагание, имеется и в неорганической природе. Все ДС «стремятся» выполнить свою функцию: «ищут» пути, «меняют» формы и всячески «приспосабливают»

ся» к среде. Энергию они имеют как скрытую в структуре их вещества на микроуровне [Пригожин, Стенгерс, 1986].

Логично ожидать, что ДС-вулкан, развиваясь и проходя сквозь литосферу, будет «вести себя экономно», то есть не будет тратить энергию на то, что не содействует выполнению её функции – выносу глубинного вещества. С этих позиций вулканической структуре не нужны очаги, не нужно поглощение холодных вод, нагревание и переплавление пород (если что попало случайно – остается ксенолитом!), и всего того, что ведет к нерациональной, с точки зрения функции ДС, потере энергии. Будут использоваться полезные особенности среды (ослабленные зоны, трещины, полости); структурные элементы, помогающие выполнению функции, будут возникать, не помогающих – не будет образовываться.

Казалось бы, исследователь волен в своих обобщающих гипотезах, так как Природа имеет бесконечные возможности, но на самом деле «ветвящиеся дороги эволюции ограничены... имеют место блуждания, но не какие угодно, а в рамках вполне определенного, детерминированного поля возможностей» [Князева, Курдюмов 1994]. «Удивительно – говорят эти авторы, – что все сложное построено в мире чрезвычайно *избирательно*, что эволюционный коридор в сложное очень узок. Эволюционное восхождение по лестнице всеусложняющихся форм и структур означает реализацию все более маловероятных событий... Путь к сложному это путь к средам с большими нелинейностями и новыми свойствами, с более сложным спектром форм и структур». Поэтому Природа *обычно варьирует один и тот же механизм бесконечно различными способами*, словно имеет к нему предпочтения, в то время как на иные формы наложен запрет. Они оказываются неустойчивыми и эволюционируют к устойчивым формам организации, «сваливаются» на них [Князева, Курдюмов, 2000].

По мнению Г.Хакена [1991], «Природа, по всей видимости, всегда использует для создания упорядоченных макроскопических структур одни и те же принципы».

Поэтому *способы объединения в сложное – ограничены*, что сужает их выбор исследователем и это плюс. Но процессы в макроскопических открытых системах по их природе настолько сложны, что пока приходится полагаться в большой мере не на расчет, а на интуицию.

Выбор структуры ДС вулкан

Хотя эвристический подход лишь задает вероятное направление поиска, к нему приходится прибегать в особо сложных случаях, хотя бы для возбуждения научного любопытства «смежников» с целью последующего коллективного всестороннего осмысления проблемы.

Одним из самых простых, наиболее часто встречающихся типов структур самоорганизации и наиболее подходящих к случаю является *спиральная структура – вихрь*. Состояния среды в ней могут существовать не только как материальные частицы, но и как волны, сохраняющие жесткую про-

странственную структуру [Николис, Пригожин, 2014], и при этом сама она выступает как локальный автоволновой источник [Локтев, Михайлов 2007].

В двумерном случае спиральная волна вращается вокруг некоторой точки и имеет ядро; в трехмерном – центры вращения образуют линию – ось вращения, называемую нитью вихря или его керном. Нить может быть прямой, но может быть искривлена или замкнута. В последнем случае вихрь превращается в вихревое кольцо - тор (бублик). Можно сконструировать значительно более сложные вихревые структуры – скрученные вихри с нитью связанной в узел, скрученные вихревые кольца, проткнутые нитью еще одного вихря, и другие сложные вихревые образования, но часть комбинаций – «запретна», а часть – не устойчива.

Что бы оценить возможность вихревой формы в качестве вулканической структуры надо посмотреть на вихревые формы в окружающем нас мире, то есть на те, существование которых Природа уже «одобрила».

Вихревые формообразования рождаются в атмосфере Земли (циклоны и антициклоны), в космосе (спиральные галактики), а также как структуры при конвекции, формы раковин, рогов, перьев и других органических образований. Простейший вихрь возникает над отверстием ванной, в которое вытекает вода.

Множество спиралевидных объектов было обнаружено и среди геологических образований [Сб. Вихри в геологических процессах, 2004 ; Масуренков, 2010]. «Вулканическое торнадо» было предложено как возможный механизм транспортировки магмы [Аносов и др. 2004]. Форма вулканических построек при взгляде сверху (из космоса) и замеры по времени координат точек на них свидетельствуют, что перемещение происходит, хотя выражается всего несколькими см в год [Мелекесцев, 2004].

Циркуляционное движение относится к самым распространенным во Вселенной, и в то же время, оно одно из самых загадочных явлений. Все природные вихревые, спиральные конструкции обязаны своим существованием наличию вращательного момента (правого и левого спина) в микромире. В. Пакулиным [2011] была разработана гипотеза вихревой структуры материи, хотя вихревые формы и ранее связывали с отражением свойств самой материи [Викулин, 2004^б]. В модели В. Пакулина частицы предстают не точечными объектами, а осесимметричными вихрями, где *поля и частицы* являют собой лишь различные формы движения вихрей *единой* материи в виде тороидальных вихрей цилиндрической симметрии. Масштабная инвариантность природных форм (фракталы) делает возможным изучение их свойств через сравнение с другими вихревыми образованиями, которые возможней или удобней наблюдать, например, с вихрями в атмосфере.

Атмосферные вихри представляют собой спиралевидно закрученную движущуюся воздушную массу с центром посередине, который называют *глазом циклона*. Скорости в плоскости вращения различаются: на далекой

периферии они относительно небольшие, нарастая к центру. Недалеко от центра есть узкая зона, где скорость резко возрастает до 200 км/ч и даже до 400-500 км/ч., а в самом центре – глазе циклона – наблюдается полный штиль и низкое давление. Диаметр глаза порядка 10–12 км. Между зонами контрастных скоростей наблюдается что-то вроде разрыва, ограничивающего центральную полость (кern), которой иногда называют облачной стеной.

Существуют менее мощные вихревые массы: специфические по структуре облака, которые называют смерчевыми. Их средние размеры 5–10 км, при высоте до 4-5 км. В их нижней части рождаются, исчезают и вновь возникают своеобразные вихревые формы, похожие на гибкие трубы, рукава или хоботы. Облако наэлектризовано, видны молнии, и, помимо опускающихся хоботов, в нем иногда можно видеть сложные вращения в форме протяженных субгоризонтальных изогнутых труб и торов. Многие из хоботов истончаются и «рвутся», не дойдя до земли. Они имеют вихревое облачное кольцо, где наблюдается круговое завихрение с *затягиванием* с земли внутрь различных предметов. Последние поднимаются по керну структуры до самого смерчевого облака и переносятся по его движению на десятки и сотни километров [Наливкин, 1969].

Явление затягивания в kern наблюдается и на «устье» хоботов и под «глазом» циклона у вихревого облачного кольца, и у горизонта событий «черных дыр» спиральных галактик. Так несколько тропических раковин и черепах, весом до 4 кг, были подняты и летали в циклоне Газель (1954г) 3–4 дня, упав за 1,5 тыс км. от места обитания.

Известно, что «черные дыры», наглотившись и накопив материи, периодически выбрасывают ионизированный газ в виде, так называемых, джетов.

Вихревое движение таит в себе много свойств и особенностей, которые практически не объясняются ни по одной из принятых гипотез. Не ясна природа подъемной силы по керну, хотя известно уменьшение трения при увеличении скорости потока в нем после превышения некоей критической скорости [Викулин, 2004^a]. Не понятен высокий уровень электрической активности в керне и низкое давление в нем, а также переход тепловой энергии в кинетическую. Невозможно объяснить примеры странного переноса (как хрусталь на подносе) отдельных затянутых предметов при одновременном мощнейшем всеобщем разрушении, а так же разные температуры и направления потоков (центрального и пристеночного) по керну (последнее – в случае движения газов). Все эти явления исчезают с разрушением структуры, показывая, что являются её свойством.

Так как геологические породы являют собой конденсированную среду, то едва ли в ней возможен скоростной вихрь с перемещением частиц, имеющих массу. Более вероятно для такой среды – колеблющееся распространение её состояния, то есть перенос не вещества, но энергии в форме волны. Волна имеет фронт, который в трехмерном случае принимает вид вращающихся спиралей, вихрей. У вихря есть kern и свойство (пока не

понятное) поднимать по нему вещество. Логично предположить, что вулканический канал это керн волновой вихревой структуры.

Что есть вулкан? – рабочая гипотеза

*Вулкан представляет собой самоорганизующуюся на астеносфере пространственно-временную вихревую диссипативную структуру (ДС), жесткая форма которой создается и переносится по ней в виде волн.

*Вулкан как ДС является источником волн дрожания и «sister events».

* Вулканический канал представляет собой керн вихря, по которому идет объемный сток, необходимый для обеспечения дееспособности ДС неживой природы [Курдюмов, 1994].

*Область, на глубине порядка 30 км, обнаруженная под Ключевским вулканом и имеющая форму приплюснутой сферы [Озеров, 2016], является структурной частью ДС в форме протыкаемого керном тора, которая действует как автоволновой источник «sister events».

* Волны дрожания и «sister events» – стабильны и зависят только от движения по керну, то есть имеют характерные свойства автоволн [Елькин, 2006 и др.].

Рабочая гипотеза дает направление исследований. Очевидно, что его первыми шагами должно быть всестороннее изучение свойств и особенностей вихревой формы движения материи, без чего невозможно феноменологическое понимание вулкана как геологического образования. Нароботан некий общий подход к изучению природных ДС, который разумно использовать далее. Известно, что развитие пространственно-временных структур управляется параметром (или параметрами) порядка, который определяет возникновение в системе волновых или спиральных структур, но применительно к вулкану он пока не ясен. Связь между параметрами порядка и отдельными частями системы называется принципом подчинения. Концепция параметра порядка и принцип подчинения существуют повсюду в природных явлениях. С определением параметров порядка поведение системы можно считать описанным, и тогда (и только тогда!) – в противном случае математика дает описание геологических монстров) можно строить математическую модель [Самарский, Михайлов, 2005] и начинать компьютерное моделирование работы вулкана.

Осталось «совсем чуть-чуть»: сформулировать общий закон, которому подчиняется жизнь вулкана как ДС, определить функциональную роль отдельных её частей и связи между ними, сжать всю эту информацию и выразить её через параметр порядка [Хакен, 1991], то есть осуществить процедуру, которую специалисты относят к искусству. Понятно, что сделать это под силу, по-видимому, только коллективу различных специалистов.

Пока придется удовлетвориться вероятностным способом предсказания поведения вулкана, основанным на анализе временных рядов, взяв в

качестве переменной, например, данные вулканического дрожания. «Если такую наблюдаемую переменную определенным образом обработать, то при некоторых условиях можно с большой точностью произвести оценку будущего значения временного ряда, при чем, эта оценка представляет собой функцию только (!) от предыдущих значений ряда. Следовательно, на основе одних лишь наблюдений за системой можно предсказать её поведение в будущем. Более того, при прогнозировании не делается различий между природой систем ... оказывается, что методы теории вероятности зачастую работают хуже, чем методы теории динамических систем» [Лоскутов, 2007].

По-видимому, для прогноза извержений можно использовать и универсальную для многих динамических систем закономерность, обнаруженную Митчеллом Файгенбаумом: переход к хаосу идет через каскад бифуркаций удвоения периода. Получена константа и существует формула, которые можно использовать для предсказания наступления хаоса по сценарию Файгенбаума [Локтев, Михайлов, 2007].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Традиционно ищутся внешние силы воздействия на материю, которая, как считалось, существует в их власти. Но, становится всё очевидней, что в мире действует таинственный закон самоорганизации материи. Различные частицы на подходящих средах САМИ объединяются в структуру, которая рождается, развивается и действует по своим законам. Такой самоорганизующейся пространственно-временной вихревой структурой предстает ВУЛКАН. Жесткость формы обеспечивается и переносится волнами, а объемный сток – магмой, поднимающейся по керну.

Согласно Конраду Лоренцу «Всякое новое начинается как ересь и кончается как ортодоксия» *. Суждено ли этим представлениям пройти путь от ереси до ортодоксии – покажет время.

*Lorenz K. Behind the Mirror. A Search for a Natural History of Human Knowledge. London, 1977. P.240

Благодарности. Автор благодарна док. мат.н. Ю.Горицкому, просмотревшему рукопись и принявшему её как есть, но особенно - вулканологу док. геол.-м.н. Ю. Масуренкову, который, вникая в суть, «трепал работу, как Тузик грелку», от чего она значительно «постройнела и похорошела».

Литература:

Аносов Г.И., Колосков А.В., Флеров Г.Б. Особенности проявления ультрамафитов камчатского региона с позиций вихревой геодинамики. Сб. Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский. 2004. С.30-64. **|| Арсанова Г.И.** К вопросу о происхождении перегретых хлоридно-натриевых вод молодых вулканических областей. // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С.14-21. **|| Арсанова Г.И.** К геохимии цезия: источник цезия в термальных водах и кислых вулканитах.// Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2013 Т. 4. Вып. 1. Специальный выпуск Система планета земля. Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprovrv_e-ast4-1.2013.23. **|| Арсанова Г.И.** Цезий как индикатор ювенильного флюида и мно-

гофункциональность флюида.// Электронное научное издание Альманах Пространство и Время.2016 Т.11. Вып.1.Система планета Земля. Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-arprov_e-ast4-1.2013.23. // **Аруцев А.А., Ермолаев Б.В., Кутателадзе И.О., Слущкий М.С.** Концепции современного естествознания.2009.142 с. <http://nrc.edu.ru/est/pos/index.html> // **Белоусов А.Б.** Эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатского региона: механизм, динамика, закономерности образования отложений. Авт.дисс. д.г.-м.н. М. МГУ-им.М.В.Ломоносова. 2006. 42 с. // **Викулин А.В.^а** Введение в физику Земли. Петропавловск-Камчатский. 2004. 240с. // **Викулин А.В.^б** Взгляд физика: вращательное движение как характерное свойство пространства-времени Вселенной. Сб.Вихри в геологических процессах.Петропавловск-Камчатский. 2004. С4-13. // Вихри в геологических процессах» Сб. 2004. Петропавловск-Камчатский.297с. // **Галкин А.А., Лунин В.В.** Вода в суб- и сверхкритическом состояниях-универсальная среда для осуществления химических реакций.// Успехи химии. 2005.Т.74. № 1. С.24-40. // **Глейк Джеймс.** Хаос. Создание новой науки.2001.СПб.Амфора,398 с. // **Горбатый Ю.Е. Бондаренко Г.В.** Сверхкритическое состояние воды. // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2007. Т. 2. № 2. С.5-19. // **Гордеев Е. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Кривовичев С. В., Филатов С. К., Антонов А. В., Овсянников А. А.** Алмазы в лавах трещинного Толбачинского извержения на Камчатке.// ДАН. 2014. Т. 454. № 2. С. 1–3. // **Горшков Г.С.** О глубине магматического очага Ключевского вулкана.// Д АН. 1956. Т.106. № 4. С.703-705. // **Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю.** Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований. Москва. ГЕОС. 2001. 312с. // **Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечов П.Ю.** Экспериментальная и техническая петрология. М.: Научный мир. 2000. 416 с. // **Давыдов М. Н., Кедринский В. К., Чернов А. А., Такайма К.** Зарождение и развитие кавитации в магме при динамической разгрузке. // Прикладная механика и техническая физика. 2005. Т. 46. N 2. С.71-80. // **Действующие вулканы Камчатки.** Отв. ред. Федотов С.А., Масуренков Ю.П. Т. 1,2. М.: Наука,1991. // **Елькин Ю.Е.** Автоволновые процессы.// Математическая биология и биоинформатика. 2006. том 1. №1. С.27-40. // **Ермолаев Б.В., Аруцев А.А., Слущкий М.С., Кутателадзе И.О.** Концепции современного естествознания. Ростов. Феникс. 2008. <http://nrc.edu.ru/est/pos/index.html> // **Жузе Т.П.** Роль сжатых газов как растворителей. М. Недра. 1981. 165 с. // **Завилопуло А.Н., Чипев Ф.Ф., Шпеник О.Б.** Ионизация молекул азота, кислорода, воды и двуокиси углерода электронным ударом вблизи порога. //Журнал технической физики. 2005. Т. 75. вып. 4. С.19-24. // **Залепугин Д.Ю., Тилькунова Н. А., Чернышова И.В., Поляков В.С.** Развитие технологий, основанных на использовании сверхкритических флюидов. // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2006.Т. 1. № 1. С. 27—51. // **Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Ракин В. И., Васильев Е. А., Филатов С. К., Петровский В. А., Флеров Г. Б.** Алмазы и сопутствующие минералы в продуктах Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. // Вулканология и сейсмология, 2014, № 6, с. 3–20. // **Капра Фритъоф.** Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем. 2003. ИД «София». 336с. // **Киржниц Д.А.** Экстремальные состояния вещества. // Успехи физических наук. 1971, июль.Т.104. в.3. С.489-508. // **Киржниц Д.А.** Лекции по физике. Москва. Наука. 2006. 244с. // **Климантович Ю. Л.** Турбулентное движение и структура хаоса. Новый подход к статистической теории открытых систем. М.:Наука.1990.317с. // **Князева Е.Н. Курдюмов С.П.** Законы эволюции и самоорганизации сложных систем., -М., Наука. 1994. 236 с. // **Князева Е.Н. Курдюмов С.П.** Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомыры. Алтай. 2002. // **Князева Е.Н., Курдюмов С.П.** Жизнь неживого с точки зрения синергетики. Сб. Синергетика. Т.3. М.: МГУ, 2000. С.39-61. // **Князева Е.Н. Туробов А.А.** Единая наука о единой природе.// «Новый мир» 2000.№ 3. // **Козловский Е.А.** (Гл. ред). Кольская сверх-глубокая. М:Недра,1984. 490с. // **Котельников Г.А.** Теоретическая и прикладная синергетика. Белгород: БелГТАСМ; 2000.162 с. // **Курдюмов С.П.** Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. Сб. Пути духовного и экологического преобразования планеты.1994.Алтай.С.48-57. // **Леменов**

ский Д.А. Баграташвили В.Н. Сверхкритические среды. Новые химические реакции и технологии. // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 10. С.36-41. // Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М. Наука. 1990. 272с. // Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Основы теории сложных систем. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2007. 620 с. // Лоскутов А.Ю. Нелинейная динамика, теория динамического хаоса и синергетика: идеи и перспективы. 2007. Сб. Синергетическая парадигма. Синергетика образования. М. Прогресс-Традиция. С.346-368. // Масуренков Ю.П., Собисевич А.Л. Пульсионно-вихревое развитие Эльбрусской вулканической области. Док.РАН. 2010.Т.432, №1 С.105-109. // Мелекесцев И.В. Роль вихрей в происхождении и жизни земли. Сб. Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский. 2004. С.17-53. // Мельник О.Э., Бармин А.А., Спарк С. Беспокойная жизнь лавовых куполов.// Природа.№3 (1087). 2006.С.46-55. // Наливкин Д.В. Ураганы, смерчи, бури. 1969. Л.: Наука. 487с. // Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. 2014. "Ленанд".360 с. // Нечаев А.М. О механизме извержения вулкана. Докл. в ИФЗ РАН 15.05.2013 http://istina.msu.ru/media/publications/articles/858/603/3417291/Volcanoes_eruption_rus-MGU-size9.pdf // Озеров А. Ю. Динамика эруптивной деятельности, эволюция магм и модели базальтовых извержений (на примере Ключевского вулкана). Дисс.на соис.уч.ст.док.г.-м.н. 2016. М. 410с. // Пакулин В.Н. Структура материи. Вихревая модель микромира. 2011.СПб. НПО «Стратегия будущего».120 с. // Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов. М. Логос, 2001.296 с. // Попов В.С., Кременецкий А.А. Сверхглубокое научное бурение. // Соросовский образовательный журнал. 1999.№11. С.61-68. // Пригожин И.Р., Стенгерс И. Порядок из Хаоса: Новый диалог человека с Природой. 1986 М.: Прогресс. 432 с. // Пушаровский Д.Ю., Пушаровский Ю.М. Состав мантии Земли. // Соросовский образовательный журнал №11. 1998. 111-119 с. // Самарский А.А. Михайлов А.П. Математическое моделирование. М. Физ-матлит. 2005. 320с. // Слепнев А. В., Вадивасова Т. Е.. Два вида автоколебаний в активной среде с периодическими граничными условиями. // Нелинейная динамика. 2012. Т. 8. № 3. С.497–505. // Слэзин Ю.Б. Природа и механизм резких изменений режима вулканических извержений. В кн. Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. 2001. Петропавловск-Камчатский. ИВГиГ ДВО РАН. 428с. // Соболева Е.Б. Термогидродинамика сверхкритических флюидов при наличии температурных неоднородностей. // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2013. № 4. С. 62-77. // Степин В.С. Саморазвивающиеся системы и философия синергетики.// Экономические стратегии. 2009. №07. С 24-35. // Стишов С. М. Современное состояние физики высоких давлений. //Вест. АН СССР. 1991.№ 9. С 52-65. // Суслов В.А. Тепломассообмен. СПб. 2008.120с. // Тазиев Г.О. О механизме фреатических извержений Сб. Проблемы глубинного магматизма. М.Наука. 1979. С.70-75. // Федотов С.А.(Ред.) Большое Трещинное Толбачинское извержение. М. Наука. 1984. 638с. // Федотов С.А., Жаринов Н.А., Гонтовая Л.И. Магматическая питающая система Ключевской группы вулканов по данным об ее извержениях, деформациях, землетрясениях и сейсмотомографии.// Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 3–35. // Филенко Д.Г., Дадашев М.Н., Винокуров В.А., Григорьев Е.Б. Сверхкритическая флюидная технология в нефтепереработке и нефтехимии. // Вести газовой науки. 2011.Вып.2(7). С.82-92. // Фортов В.Е. Мощные ударные волны и экстремальные состояния вещества.// УФН, 2007. Т.177.№4. С. 347-368. // Фортов В.Е. Экстремальные состояния вещества на Земле и в космосе. 2009.УФН. Т.179.№ 6. С. 653–687. // Хакен Г. Синергетика. 1991.М. Мир. 419с. // Чернавский Д.С. Синергетика и информация. М.Наука. 2001.105с. // Чернавский Д.С. Методологические основы синергетики и ее применения. Методологические основы синергетики и ее социальные приложения. Научный эксперт. 2010. М. Вып. 1. М. С. 6-29. // Черникова И.В. Философия и история науки. 2011. Томск. Изд. НТЛ. 383с. // Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир.1979. 279с. // Яницкий И.Н. Состав и свойства вещества в недрах земли. М.: «Гелиос». 2005.104 с.