

Рассказы о современной механике (продолжение)

Г. ЧЁРНЫЙ

Исследование вулканических извержений методами механики

Изучение вулканов и их активности всегда было делом специалистов – вулканологов, геологов и представителей других наук. Механика долгое время не вмешивалась в этот вопрос. Были отдельные попытки рассмотрения гейзеров и других подобных образований. Но собственно вулканами ученые-механики занялись лишь в последнее время, и сразу же произошел прорыв в этой области.

Для изучения и прогнозирования деятельности вулканов были применены традиционные для механики методы математического моделирования. На нынешнем этапе исследований уже получены интересные и обнадеживающие результаты. Построены модели различных типов извержений (в хорошем согласии с имеющимися данными). В наши дни, благодаря работе ученых из Института механики МГУ, появилась возможность задним числом провести расчет происходивших в свое время извержений, о которых было многое известно, но, как оказалось, многое становится известным лишь сейчас.

Вулканическое извержение – один из наиболее разрушительных видов природных катастроф. Достаточно сказать, что за последние три века в результате вулканических извержений погибли более 220 тысяч человек. Для надежного прогноза последствий вулканических извержений необходимо научиться правильно интерпретировать различные сигналы, получаемые от вулкана, – микроземлетрясения, деформации построек, рост температуры в термальных источниках и состав выделяемых газов. Связать эти не прямые разрозненные наблюдения под силу лишь математическим моделям, основывающимся на фундаментальных законах механики.

Рассмотрим, например, подробнее, что произошло в 79 году нашей эры во время извержения вулкана Везувий, когда погибли города Помпеи и Геркуланум. Как известно из многочисленных источников, после кратковременного всплеска извержение быстро пошло на убыль. Жители Помпей, хотя и изрядно напуганные, решили, что вулкан успокоился, и не собирались покидать свои дома. Внезапно извержение снова усилилось, и на город обрушились потоки раскаленных камней. Практически мгновенно город был погребен под их многометровым слоем.

Объяснить это не мог никто, а механики – объяснили.

Создали модель, расчеты по которой восстановили хронологию событий. На рисунке 1 приведен график рассчитанной зависимости интенсивности извержения от времени. Оказывается, возле Везувия в земле имеется достаточно мощный водоносный слой. И вот,

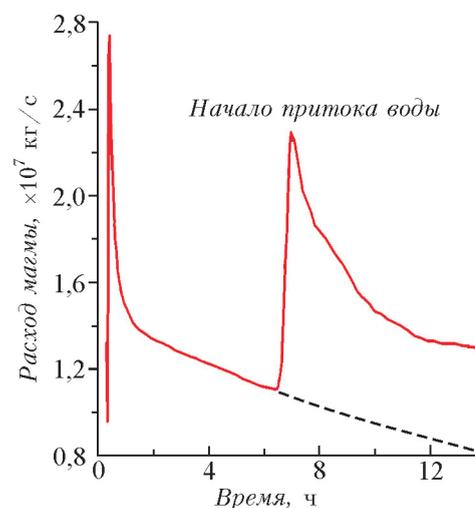


Рис.1. Интенсивность извержения Везувия (79 г.)

когда произошел спад извержения, в месте контакта с этим слоем давление внутри канала вулкана сильно упало, и туда устремилась вода, которая практически мгновенно превратилась в пар и произвела выстрел, выбросивший громадное число камней, пепла и тому подобное.

В настоящее время методы механики активно используются для анализа и прогноза вулканических извержений. В Институте механики МГУ созданы модели течения магмы (расплавленной лавы) в канале вулкана для различных типов извержений. Эти модели позволяют связать наблюдаемые на поверхности величины, например расход магмы и ее температуру, с процессами, происходящими в земной коре. Для ряда вулканов их история известна, описана методами механики, и, таким образом, становится возможным прогноз. Например, взяв параметры извержения для Везувия приблизительно те же, что были в начале нашей эры, ученые рассчитали лавовые потоки, которые могут возникнуть сегодня. Они установили, в частности, что на город Неаполь в течение 15 минут могут обрушиться огромные потоки раскаленной магмы. Население и местные органы власти призадумались, и сейчас разрабатываются планы эвакуации населения на этот случай.

Механическая модель образования суперконтинентов

Еще один, действительно ошеломляющий, пример применения механики в огромном по масштабу промежутке времени от начала возникновения Земли и до наших дней – это образование континентов. Известно, что континенты и составляющие их плиты движутся. И вот, по данным геологов, за последние три с половиной миллиарда лет эти плиты несколько раз собирались в

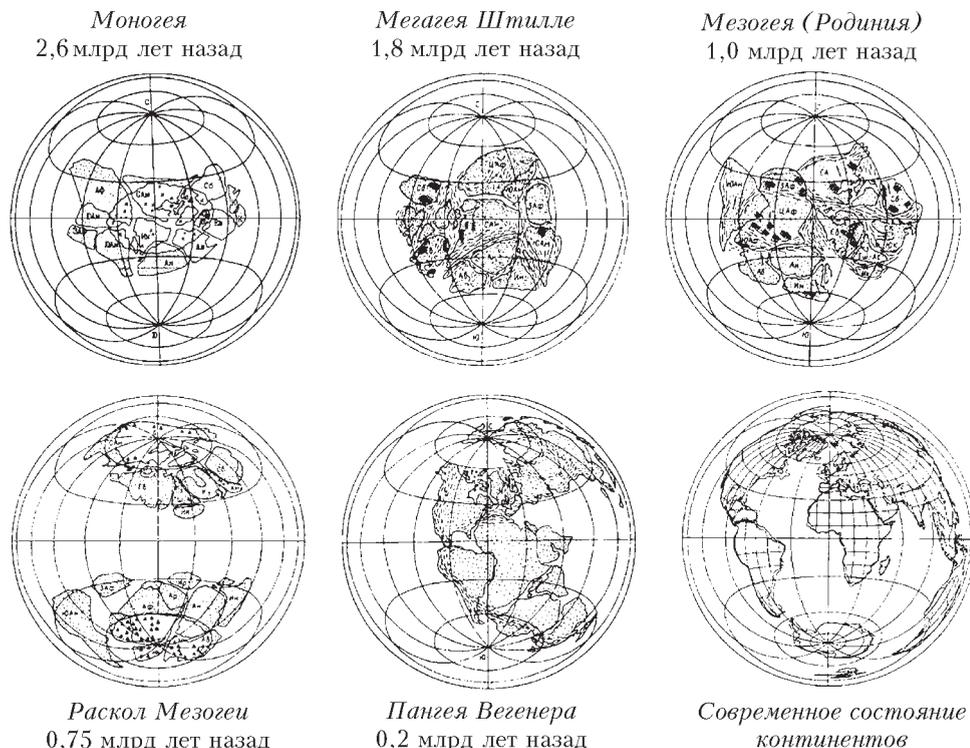


Рис.2. Суперконтиненты в геологической истории Земли

некий общий материк (рис.2). Геологи умеют определять возраст пород. На ныне существующих континентах есть области, где породы очень старые – по три миллиарда лет и больше, а в других местах обнаружены так называемые ювенильные породы, т.е. породы, возникшие намного (на миллиард, на два миллиарда лет) позже. Но почему все это происходит – неясно.

Для объяснения была предложена конвекционная теория динамики земной коры. Внутреннее строение Земли выбиралось очень простым – в центре находится горячее расплавленное ядро, которое является источником тепла, дальше располагается мантия, которая разделена на два слоя – верхний и нижний (это – данные сейсмологии). Слои – толстые, верхний слой имеет толщину примерно 650 километров. Эти слои отличаются друг от друга по своему внутреннему строению. Граница между слоями – это поверхность фазового перехода вещества мантии с поглощением тепла, т.е. при переходе через эту поверхность одни химические связи преобразуются в другие и это сопровождается поглощением тепла. Так вот, была построена такая упрощенная модель: есть сферически симметричная Земля, затем ей дают небольшое возмущение, отклонение от сферически симметричной формы,

и отслеживают, что происходит при дальнейшей эволюции. При решении этой задачи используется метод математического моделирования.

Оказывается, что развивающиеся (увеличивающиеся) возмущения приводят к глобальным движениям мантии Земли. Возникают так называемые тепловые конвективные потоки, и в двухслойной мантии наблюдается интереснейшее явление. В некоторые периоды, достаточно короткие по сравнению с общим временем

эволюции, верхний, более холодный, слой мантии почти целиком сливается одной гигантской струей вглубь Земли, обволакивая ее ядро. Взамен этого происходит всплытие на поверхность части вещества нижнего, более горячего, слоя. Всплытие происходит тремя-пятью менее мощными струями, чем струя, идущая вниз. Всплывающий материал образует новые, ювенильные породы.

Заметим, что наиболее неожиданным открытием оказалась так называемая «глобальная самоорганизация» течения, которая заключается в коллективном, т.е. одной мощной струей, погружении вещества. Следствием этого и является сборка (над местом погружения) суперконтинента из отдельных континентов, а также повышенная скорость погружения вещества.

Описываемая теорией картина не только качественно согласуется с геологической историей нашей планеты, но и позволяет делать некоторые выводы (авторы работы – московские ученые-механики).

Поскольку теория имеет некоторую свободу (свободные параметры, которые можно задавать), временной масштаб подгоняется под масштаб действительных новых образований, которые геологи определяют по распаду радиоактивных элементов. На рисунке 3 приведен

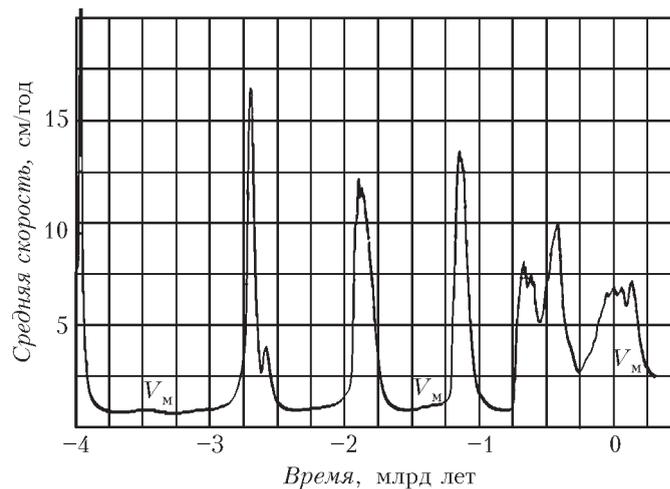


Рис.3. Средняя скорость движения мантии

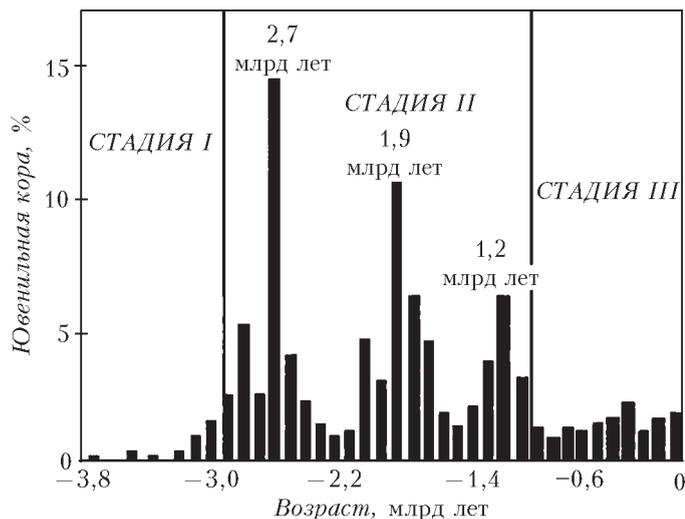


Рис.4. Геологические данные по возрасту ювенильных пород

график рассчитанной средней скорости движения мантии. Он имеет довольно острые пики, когда скорость сильно возрастает, продолжительность пиков невелика по сравнению с общим временем эволюции. Во время этих пиков и происходит интенсивное образование пород. Полученная картина хорошо согласуется с имеющимися геологическими данными по возрасту ювенильных пород (рис.4). После того как периоды подогнаны, получается очень похожая картина.

Механика и арктические исследования

В нашей стране разработаны (чего нет больше нигде в мире) глубоководные, до 6 километров глубины погружения, самоходные или управляемые извне самодвижущиеся аппараты – обитаемый «Мир» и необитаемый «Клавесин». Они принципиально отличаются от имеющихся в ряде стран так называемых батискафов, которые просто опускают на канате, внизу они сбрасывают балласт и всплывают. Но 6 километров глубины – это давление 600 атмосфер, которое должно выдержать достаточно сложное устройство аппарата. И здесь нужна механика материалов, механика их поведения в таких сложных условиях.

Новость, которая в газетах освещалась очень широко, – недавняя экспедиция к Северному полюсу на атомных ледоколах «Россия» и «Академик Федоров» и установка Российского флага на дно Северного Ледовитого океана. На атомных ледоколах есть атомные реакторы, которые представляют собой почти чисто механические устройства. Возможность создания прочных судов – это тоже механика. Но еще раньше на Северном полюсе побывали подводные лодки, которые всплыли точно в точке полюса. Кто их туда привел? Радио? Оно не работает под водой. Эхолотация? Хотя она и работает, но на очень малых расстояниях. А привели лодки инерциальные гироскопические системы навигации поразительной точности – еще одно чудо, выдающееся достижение механики и прошлого и совсем недавнего времени.

Навигация – это наука и искусство, находясь на перемещающемся аппарате (машине, морском или воз-

душном судне, космическом или воздушном корабле), определять местоположение и ориентацию этого аппарата. В старину моряки для навигации использовали компас, Солнце и звездное небо. Потом на помощь пришло радио. Новая эпоха началась с появлением инерциальных систем навигации, которые не используют никаких внешних сигналов или наблюдений. Самые первые такие системы, до сих пор остающиеся традиционными, – гироскопические. В их основе лежит чисто механическое устройство – гироскоп. (Простейшее представление о гироскопе дает быстро вращающийся волчок, который, вопреки силе тяжести, не падает, и при этом его ось вращения прецессирует, т.е. медленно описывает конус.) Гироскопические системы навигации прошли колоссальную эволюцию за последние десятилетия и особенно в наши дни. В нашей стране созданы гироскопические системы навигации поразительной точности. На эти приборы имеется огромный спрос во всем мире, каждые два года проводятся посвященные им международные конференции. Хотя эти приборы и электронные, но принцип их действия и принцип использования – чисто механические.

Кстати сказать, акустическая локация и связь – тоже дело механиков. Ведь акустика – наука, отпочковавшаяся от механики, как и давно выделившаяся динамическая метеорология (и значительная часть океанологии). В совокупности эти две науки изучают движения в воздушной оболочке Земли – атмосфере и движения в мировом океане, а также их взаимодействие.

Среди ряда новейших достижений этих наук можно отметить теорию «рингов» Гольфстрима и теорию торошения льдов в Арктике. Последняя сродни теории столкновения материковых плит, но, конечно, относится к явлениям гораздо меньшего масштаба по пространству и времени и к более простой среде.

Производство электроэнергии на атомных электростанциях

Хорошим примером использования механики в технике может служить атомная энергетика – одна из быстро развившихся в последние десятилетия технологий. Ныне атомные реакторы используются не только в энергетике, но и для транспорта.

Принципиальная схема атомной электростанции – АЭС – изображена на рисунке 5. Помимо атомного реактора она включает двухконтурную систему теплоносителя (первый контур – радиоактивный, он располагается внутри корпуса реактора, а второй, уже с малой радиоактивностью, находится вне реакторного корпуса), паровые турбины, которые вращают электрогенераторы, сами электрогенераторы, системы передачи электроэнергии, систему охлаждения, насосы.

Сердцем АЭС является атомный реактор – совместное детище физиков и механиков. Топливо (уран) загружают в реактор в виде тепловыделяющих элементов, которые представляют собой трубочки, набитые этим топливом. Атомную реакцию уменьшают или усиливают, перемещая вверх или вниз эти тепловыделяющие элементы, т.е. выдвигая их из реактора или задвигая в него.

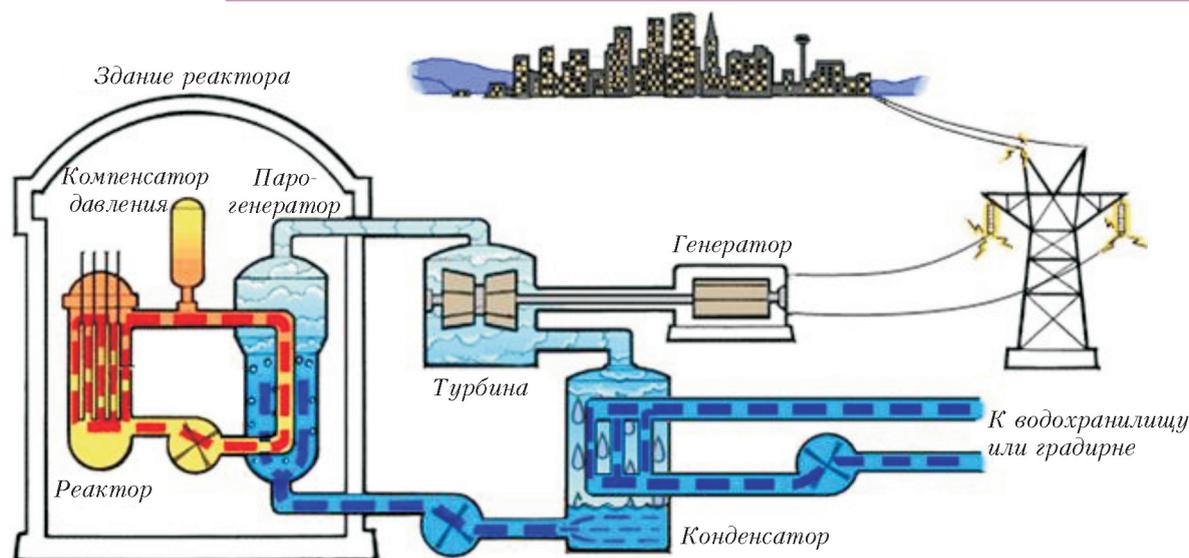


Рис.5. Схема устройства АЭС

Тепловыделяющие элементы – это далеко не самая сложная часть станции, но даже их технология изготовления разрабатывается учеными-механиками совместно с инженерами завода-изготовителя. Вся загружаемая в реактор конструкция в сборе привозится с завода на нескольких большегрузных автомашинах. На этом роль физиков заканчивается. Корпус реактора рассчитывается методами механики, и, между прочим, не методами XIX века, а непрерывно совершенствующимися методами последних лет.

Все остальное тысячетонное сложнее оборудование АЭС также рассчитывается, создается и монтируется инженерно-техническим персоналом на основе новейших достижений механики. Правда, это требует электротехнических и теплотехнических расчетов (включая расчет движения жидкости и пара в системах теплоносителя и охлаждения), которые относятся к области физики. Но можно сказать, что теплотехника – это небольшая часть механики. Механика, вобрав в себя тепловые процессы, вообще говоря, давно занимается теплотехническими проблемами более сложными, чем те, которые решает сама теплотехника.

На этом примере хотелось бы обосновать следующий тезис. Для того чтобы достижения ряда других наук, включая физику, сделать полезными человеку, без механики не обойтись. Механика является основой. Так, физики открыли и изучили реакцию деления урана с выделением энергии. Механики на основе этого открытия создали сооружения, дающие людям тепловую и электрическую энергию. Другие открытия в физике (лазеры или иные источники излучения), в химии, в науке о материалах и даже в биологии, для того чтобы стать полезными людям, требуют использования новейших достижений механики. Например, все, что говорилось выше об АЭС, остается верным и для всех новых химических технологий. Здесь сердце – химический реактор – опять совместное детище химиков и механиков, причем, учитывая, что желаемое ускорение химических процессов требует во многих случаях создания все более быстропротекающих химических

реакторов, роль методов механики в их расчете становится все большей. Развитие современных технологий спутниковой связи, создание в будущем космических систем, использующих солнечную энергию для передачи ее на Землю, – все это абсолютно невозможно без механики, без уже существующих и новых, требующих развития, ее методов.

Закключение. Сэр Исаак Ньютон и вечно новая механика

Современный этап развития науки и прогресс научного знания в целом в значительной мере определяются проникновением в различные области науки методов математического моделирования, которые основаны на построении и использовании тех или иных математических моделей.

Не нужно забывать, что метод математического моделирования возник в ньютоновской механике (знаменитые законы Ньютона) и был с успехом использован самим Ньютоном при решении ряда серьезных задач. Впоследствии искусство построения сложных математических моделей было создано именно механиками и затем применено последовательно физиками, геофизиками, химиками, биологами, лингвистами, а в последнее время – социологами и экономистами.

Модели механики необычайно наглядны. Неслучайно ряд знаменитых физиков прошлого утверждали, что ни одно физическое явление не может считаться до конца понятным, пока оно не сформулировано в терминах механики. Замечательный механик и математик, академик Алексей Николаевич Крылов писал в предисловии к его русскому переводу «Математических начал натуральной философии» Ньютона: «Начала...» Ньютона составляют незыблемое основание механики, теоретической астрономии и физики». Лагранж назвал это сочинение «величайшим из произведений человеческого ума».

Ньютоновская механика – действительно непревзойденное достижение физики (натуральной философии), всей истории человеческой цивилизации. Она вечна.