

---

*ВИНИТИ*

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР  
ЮЖНО-САХАЛИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

№ 6170-85 Длн.

УДК 551.21

В.М.ДУНИЧЕВ

ПРИЧИНЫ ВУЛКАНИЗМА. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ.

4580

ЮЖНО-САХАЛИНСК, 1985



"Кто изучает прошлое - знает настоящее"  
Из японского каллиграфического свитка

## В В Е Д Е Н И Е

На развитие вулканологии, как никакого другого раздела геологии, большое влияние оказывали космогенические воззрения. Именно представление о происхождении Земли, начальной стадии ее развития определяли теоретические основы вулканологии, в конечном счете формируя взгляды на причины вулканизма. Это и понятно. Даже в настоящее время научно-технической революции полностью проследить в природе весь процесс от зарождения магмы до извержения вулкана невозможно. Прямыми методами исследований вопрос этот однозначно не решается. С XX века на помощь вулканологам пришли геофизические (косвенные) методы; ранее и их не было.

Выяснение истории взглядов на причины вулканизма мы будем проводить на основе периодизации истории вулканологии. Любая периодизация науки возможна в силу неравномерного развития знаний, смены одной господствующей теоретической идеи другой парадигмой [65]. Выделяемые периоды в истории развития взглядов на причины вулканизма будут охватывать время существования достаточно распространенных гипотез внутреннего строения Земли, отражающих представления о происхождении нашей планеты.

С той или иной полней условности можно выделить три периода, характеризующихся преобладанием одной из гипотез внутреннего строения Земли.

I. Гипотеза холодного внутреннего строения Земли, с многочисленными пустотами в ней. Просуществовала она более двух тысяч лет: начало берет от древних греков и захватила первую треть XIX века. Причиной вулканизма считалось горение в пустотах земного шара горючих веществ. В наследство от этих представлений вулканологи в настоящее время продолжают использовать термины: пепел, шлак, вулканический очаг, дымящий-

ся вулкан, потухший вулкан и т.д.

2. Гипотеза об огненно-жидком земном шаре, покрытом тонкой земной корой. Становление и расцвет ее приходится на XIX век, время появления и существования гипотезы Канта-Лапласа об образовании Земли из раскаленного газового облака. Вулканизм объяснялся поднятием на дневную поверхность неостывшего, первично расплавленного материала глубинных частей Земли. Первичный расплав являлся носителем энергии глубинных геологических процессов.

3. Гипотеза твердого состояния недр земного шара, образования Земли путем скопления холодного обломочного космического материала. Причины вулканизма виделись в расплавлении погружившихся в недра планеты осадочных пород, содержащих подземные воды.

Исходя из этого, монография состоит из трех глав, соответствующих каждой из вышеуказанных гипотез.

Потребность в изучении истории взглядов на природу вулканической деятельности вытекает из желания понять сущность процессов вулканизма, так как нынешнее знание этого вопроса не только уходит своими незримыми корнями в прошлое, но и возникло на опыте минувшего. Нельзя, поэтому, игнорировать опыт исканий предыдущих поколений, обманывать себя иллюзией, что именно мы все выяснили и наши представления в будущем не претерпят коренных изменений. Ведь еще 200 лет тому назад проявления вулканизма объяснялись горением вблизи поверхности земного шара серы, битумов или каменного угля. Такими же странными будут казаться через 100 лет современные представления о вулканизме как подъеме из подкоровых глубин базальтовой магмы, несущей с собой летучие вещества и эндогенную энергию, так как уже сейчас ясно, что они противоречат природным данным о сложении земной коры в ее верхней части осадочными породами, состав которых резко различен от базальта. Только синтез научного багажа различных взглядов на природу вулканической деятельности с учетом законов химии, физики и других естественных наук, позволит создать теорию вулканизма.

## ГЛАВА I. ПЕРИОД ОБЪЯСНЕНИЯ ПРИЧИН ВУЛКАНИЗМА ГОРЕНИЕМ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ

В глубокой древности люди не могли дать объяснения явлениям природы, поэтому обожествляли их, населяя окружающий мир добрыми и злыми духами. Злых духов обычно помещали под землю, в связи с чем сложилось представление о страшном, пугающем подземном мире. Помимо событий повседневной жизни обожествлялись и могущественные явления природы, такие как извержения вулканов и землетрясения. Постепенно возникали и затем длительное время существовали различные мифы, в которых отражались как наблюдавшиеся грозные природные явления, так и делались попытки еще наивного их объяснения.

### I. Описания извержений вулканов в мифах и трудах древних греков и римлян

Древним грекам были известны вулканы Этна, Стромболи и некоторые другие. Вулкана Везувия тогда, как такового, еще не было. Была конусовидная гора, называвшаяся древними римлянами Соммой. Еще за столетие до знаменитого извержения в 79 г. н.э. Страбон (64-63 г. до н.э. - 23-24 г. н.э.) описывал ее горой с ровной, но бесплодной вершиной, состоящей из смеси золы с черными и пористыми, как бы обожженными огнем, камнями. К.Берингер [74], однако указывает, что гору эту по конусообразной форме Страбон считал вулканом. Продуктами извержения Соммы в 79 г. н.э. были, как известно, погребены города Помпеи и Геркуланум. Вершина Соммы обрушилась, образовав кальдеру. Через 93 года произошло следующее извержение, в результате которого появился конус, названный Везувием.

Наиболее известен древним грекам был вулкан Этна. С извержениями его, а они были довольно часты в период колонизации Сицилии элинами, связаны многие мифы, в частности миф об Энцеладе (Тифее). Во время борьбы Зевса с титанами, олицетворявшими силы, действовавшие в недрах нашей планеты и вызывавшие вулканические извержения и землетрясения, один из них, Энцелад, был придавлен огромной тяжестью Сицилии. Этна жмет голову титана, и он своими корчами заставляет трепетать зем-

лю. Его вздохи - вспышки дымящегося конуса, его рыдания - глухой рев вулкана [56].

Другой миф о похищении Прозерпины (она же Персефона) Плутоном изображает уничтожение готовых к жатве посевов лавовыми потоками Этны. Как воспоминание об одном древнем извержении Этны повествуется об уничтожении флота Улисса, забрасываемого громадными камнями циклопов. Сами циклопы, эти ужасные великаны с огромным круглым глазом среди лба, напоминают нам вулкан с его зияющим кратером.

Миф о борьбе с титанами и наказании Энцелада воспели многие греческие поэты. Гезиод в своей поэме "Происхождение богов" писал об этом так [56]. "Тогда могущественный Зевс собрал все свои силы и поразил среди грома и блеска молний Олимпа огромные головы ужасного чудовища, которое не вынесло удара и пало изувеченным; от этого задрожала земля. Между тем пламя от ужасных молний, охватив леса суровых гор, со страшной силой жгло землю и плавило ее, как олово или железо в кузнице. Огонь мчался через селения, пожирая все на своем пути, и почва делалась жидкой в руках вулкана".

Образно описал извержение Этны в 475 г. до н.э. Пиндар [56]. "Тот, кто живет в ужасном Тартаре, враг богов, стоглавый Тифон, однажды наполнил собой знаменитую килийскую пещеру; прибрежные Кумские холмы и Сицилия жмут его косматую грудь и на него давит опора неба, снежная Этна - колыбель вечного льда; из ее пещер вырываются источники страшного огня, целые огненные реки, днем испускающие тучи пылающего дыма, а ночью несущие с шумом в глубины моря раскаленные камни. Гадообразный Гефест извергает эти ужасные потоки".

Описанию вулканических явлений посвящена небольшая поэма "Этна", приписываемая Луцилио Младшему.

Теперь рассмотрим наиболее общий миф. В начале, как говорится в мифе о происхождении мира и богов [32], существовал лишь вечный, безграничный, темный Хаос. Весь мир и бессмертные боги, в том числе богиня Земли - Гея, возникли из Хаоса. В неизмеримой глубине под землей родился мрачный Тартар - ужасная бездна, полная вечной тьмы.

Могучая Земля породила беспредельное голубое небо -

Урана. Уран взял себе в жены Гею. У них родилось шесть сыновей и шесть дочерей - могучих и грозных титанов. Еще Земля породила трех великанов - циклопов и трех громадных, как горы, сторуких великанов - гекатонхейров. Невзлюбил Уран своих детей-великанов и заключил их в глубокий мрак в недра богини Земли. Один из сыновей Урана - Крон, хитростью низверг своего отца и отнял у него власть. В свою очередь сын Крона - Зевс, когда вырос и возмужал, восстал против деспотии своего отца. Вместе с другими детьми Крона Зевс начал борьбу с отцом и титанами за власть над миром. Зевсу на помощь пришли циклопы, выковавшие ему громы и молнии, которые он метал в титанов.

Несмотря на то, что борьба длилась десять лет, победа не приходила ни к одной из сторон. Тогда Зевс освободил из недр земли сторуких великанов-гекатонхейров и призвал их на помощь. Выйдя из недр земли, они отрывали от гор целые скалы и бросали их в титанов. Грохот наполнил воздух, земля стонала, все кругом колебалось. Даже Тартар сотряснулся от этой грозной борьбы. Зевс метал свои огненные молнии и рокошующие громы. Всю землю охватил огонь, кипели моря, дым и смрад заволокли все густой пеленой.

Не выдержали, дрогнули титаны. Сила их была сломлена. Зевс с богами Олимпа сковали их и низвергли в мрачный Тартар, поставив у ворот стражу из гекатонхейров, чтобы не вырвались на свободу могучие титаны.

Извержение вулкана, столь красочно описанное в мифе "Борьба богов-олимпийцев с титанами", на этом полностью не закончилось. Зевсу еще предстояла борьба с Тифоном. Дело в том, что Гея разгневалась на Зевса за столь жестокую участь своим побежденным детям-титанам. Вступив в брак с Тартаром, она произвела на свет ужасное стоголовое чудовище - Тифона. Горой поднялся он из недр Земли, диким воем содрагая воздух. Яростное пламя клубилось вокруг Тифона, под его тяжелыми шагами колебалась сама земля. Но Зевса не устрасил вид Тифона. Он вступил с ним в бой. Опять главный бог Олимпа выпускал свои огненные молнии, раскаты грома. "Земля и небесный свод сотрясались до основания. Ярким пламенем вспыхнула земля, как и во время борьбы с титанами. Моря кипели от одного при-

ближения Тифона. Сотнями сыпались огненные стрелы-молнии громовержца Зевса; казалось, что от их огня горят даже воздух и темные грозовые тучи. Зевс испепелил Тифону все его сто голов. Рухнул Тифон на землю, от тела его исходил такой жар, что плавилось все кругом. Зевс поднял тело Тифона и низверг в мрачный Тартар, породивший его. Но и в Тартаре грозит еще Тифон богам и всему живому. Он вызывает бури и извержения..." [32, с.19].

Под именем Тифона, если рассматривать с сегодняшних позиций, описана магма, ее прорыв на дневную поверхность и само извержение. Хочется обратить внимание читателей на то, что подземная бездна, откуда можно позвать сторуких великанов или может появиться Тифон, подразумевает наличие под поверхностью земли пустот.

В мифе "Царство мрачного Аида" об этом говорится так. Глубоко под землей царит неутомимый, ужасный брат Зевса, Аид. Не проникают никогда туда лучи солнца. Бездонные пропасти ведут с поверхности земли в мрачное, печальное царство Аида. Протекает там все леденящая священная река Стикс, водами которой клянутся сами боги.

Постепенно из подобных воззрений в некоторых религиозных учениях сложилось представление об аде - подземном царстве, местопребывании душ грешников, обреченных на вечные муки, о котлах с кипящей смолой.

Формированию представлений о подземных пустотах способствовали природные условия Греции - широко развитый здесь карст, и как следствие его многочисленные поноры, карстовые воронки и подземные пещеры. Для побережий Греции и Италии характерны повышенная сейсмичность и действующие вулканы.

Одним из первых, кто говорил о наличии в Земле пустот и каналов, был Анаксимандр (610-546 гг. до н.э.) - автор первой географической карты и географического описания [II]. Он, как затем Анаксимен (585-524 гг. до н.э.) и Демокрит (460-370 гг. до н.э.), считал, что после сильных дождей Земля размокает. При высыхании на поверхности ее образуются трещины, сообщающиеся с имеющимися внутри Земли пустотами. По этим пустотам циркулируют воздух, вода и огонь. Движения воды и воздуха со-

трясают поверхность Земли, вызывая землетрясения. Землетрясения могут происходить и при обрушении кровли пустот. Огонь, движущийся по пустотам и каналам, при прорыве на поверхность приводит к извержению вулканов.

Особенно четко идея о пустотах и каналах внутри Земли была сформулирована Аристотелем (384-322 гг. до н.э.), который считал, что движущей силой извержения вулканов является сжатый воздух в глубине Земли. Именно этот воздух выбрасывает золу (пепел) и поднимает лаву. Аристотель говорил о поднятиях земной поверхности при извержениях до холмов. Этот великий мыслитель древности предполагал, что в недрах Земли содержатся источники жизненной силы и огня, скрытые от глаз человеческих. Они имеют много выходов - выводных каналов пара и огня, поэтому из Этны, вулканов Липари и Эоловых островов извергаются воспламененные железистые земляные глыбы [56]. Горячие минеральные источники являются, по мнению Аристотеля, морской водой, проникшей в глубь земли и там нагретой [66].

Эмпедокл (490-430 гг. до н.э.) в своей поэме "О природе" говорил об огненно-жидкой внутренности Земли. При прорыве наружу подземного огня происходят извержения вулканов. Если же огонь расположен под почвой, через которую протекает вода, то образуются горячие источники [2]. Об огне и огненных реках внутри Земли указывал Платон (428-348 гг. до н.э.) и др. [II]. Платон, который был на Этне, говорил об "огненных массах" внутри Земли как о питательном источнике вулканов. В знаменитом диалоге "Федон" сообщается, что под землей есть "много огня и гигантских огненных потоков", многие из которых содержат шлак (грязь), что доказывают "потоки шлама в Сицилии перед извержением лавы" [74].

В учении Левкиппа (500-440 гг. до н.э.) наиболее интересным является его представление об образовании Земли из мельчайших частиц путем их сортировки. Эти мысли до некоторой степени напоминают современные воззрения об образовании Земли из холодных пылеватых космических частиц [2].

Много внимания описанию извержений и выяснению причин вулканизма уделяли древние римляне.

Рассматривая причины землетрясений Лукреций (I век до

н.э.) в поэме "О природе вещей", в которой в основном излагается учение греческого философа Эпикура, начинает с того [42, У1, слл. 535-601], что земля везде должна быть однородной, а поэтому, как и на поверхности, глубины ее заключают большое количество пещер, заполненных ветром, озер, глубоких провалов с отвесными скалами и глыбами. Если по поверхности текут мощные реки, передвигающие огромные камни, то подобное должно быть и в глубинах земли. При обвалах в пещерах, когда внезапно низвергаются целые горы, будут сотрясаться окрестные земли. Как поэтически указывает Лукреций, нечто подобное, только в меньших масштабах, происходит от езды повозок мимо-домов - стены их начинают шататься.

Затем [42, У1, слл. 639-702] Лукреций говорит об извержении Этны и объясняет причины его. Безусловно, грозные вулканические явления пугали людей, вызывая ужас. Лукреций призывает более спокойно оценивать эти могущества. Нужно помнить, указывает он, что вселенная несоизмерима, и небо занимает ничтожную часть ее, меньшую, чем один человек по сравнению с Землей. У бесконечности для неба с землею имеется много всевозможных источников, запасов для сотрясения земли, извержений вулканов, горения неба. На возражение (поэма написана в виде диалога), что уж очень велико бурное пламя пожара от Этны, Лукреций отвечает, что всякий поток покажется огромным тем, кто не видел еще более величественного.

Далее Лукреций объясняет, почему пышет разъяренный огонь из горнила могучей Этны. Под вулканом-горою залегает обширная полость, которая покоится на кремневых сводах. В этой полости находятся ветер и воздух. Ветер дует всегда там, где движется воздух. Сильные порывы ветра бьются о скалы полости, раскаляя их и высекая из них жгучий огонь с языками пламени. Огонь вырывается вверх по отверстию жерла, поднимается высоко в небо вместе с пеплом и черным дымом. Вместе с огнем вылетают и чудовищной тяжести камни. У подножья вулкана поглощаются вглубь морские воды, которые, как и пламя, потом ветром выносятся по жерлу, выбрасывая камни и тучи песка. В заключение описания извержения Этны, Лукреций указывает, что в результате выбросов камней и песка на вершине открываются кратеры. Это, ком-

ментирует он, местное слово, "мы же их называем устья и жерла".

Не привлекая для объяснения извержений Этны другие источники огня, в конце своей шестой книги Лукреций говорит о семенах жара в земле, о том, что в почве самой зарождается сера и земляная смола (асфальт).

Интересно объяснение Лукрецием причин образования термальных вод. Сначала он рассматривает причины изменения температуры воды в обычных колодцах летом и зимой. Летом вода в колодцах потому холодней, что от зноя почва делается пористой. Из нее уходит воздух вместе с семенами жара. Чем жарче погода, тем больше земля теряет семян жара и тем холоднее должна становиться под почвою влага. В холод, наоборот, земля сжимается, становится все плотней, выжимая остаток тепла в колодец.

Далее говорится об источнике вблизи храма Аммона, который более прохладный днем, а ночью становится горячим. Считалось, что нагревается он от ушедшего под землю солнца.

Лукреций не соглашается с таким объяснением. Если солнце не смогло нагреть голого тела воды днем, отдавая его своим жаром, замечает Лукреций, то как же оно сможет нагреть его ночью, преодолев толщу земную. Ведь известно, что даже сквозь стены домов не могут пройти солнечные лучи. Причину же этого явления Лукреций видит в том, что земля вокруг источника пористее, чем в округе и содержит много огненных семян. При остывании земля делается плотнее, как бы сжатая чей-то рукою, и весь свой запас огненных семян выжимает в источник, делая воду в нем горячей на ощупь. При восходе же солнца земля расширяется, и первоначала огня возвращаются в старые гнезда. Тепло из источника отступает обратно в землю.

Интересные сведения о вулканах приводит Сенека (4 г. до н.э. - 65 г. н.э.), который знал, видимо, один вулкан - Этну, да и то по описанию других [78]. Он считал, что нет земли, свободной от вулканических явлений. Вулкан он рассматривал как канал, посредством которого постоянно или периодически поддерживается связь между подземным раскаленным очагом и поверхностью земли.

Как пишет Сенека, в состоянии покоя деятельность подзем-

ного огня днем распознается по облаку пара, которое обычно имеется над кратером вулкана. Ночью вместо него виднеется огненное свечение, являющееся отблеском бушующих в кратере раскаленных масс. Но жерло кратера может быть и полностью закупорено, тогда не видны ни дымовое облако, ни огненное свечение.

Предстоящее извержение заявляет о себе разнообразными явлениями. Становится слышен мощный подземный гул, подобный тому, какой сопровождает землетрясение. Начинает дрожать земля в ближайшем окружении вулкана. Из расколовшейся крыши кратера и из отверстий, возникших на склонах вулкана выбрасываются пылающие камни и вытекает лава. Из открытого кратера с большой силой поднимаются облака пара и дыма. Вслед за этим вырывается пламя зажженных газов. Огромные массы лавы вытекают из главного кратера или из возникших боковых кратеров. В виде плавно текущего потока лава стекает по склонам вулкана, уничтожая все на своем пути. Выбрасываются также огромные массы черного песка (вулканическая зола).

Главной причиной вулканических извержений Сенека считал дух (*spiritus*), т.е. напряженные газы, которые собираются в подземных пещерах, и, когда давление их преодолевает тяжесть слоев земли, они силой прокладывают себе выход на земную поверхность. Часто это проявляется в форме землетрясений, с которыми большей частью связан выход газов. Иногда эти газы самовоспламеняются и землетрясения сопровождаются тогда пламенем.

Собственно вулканическое извержение возможно лишь при наличии подземного раскаленного очага. В этом случае деятельность газов и паров особенно оживленна, потому что значительные массы воды стекают через многочисленные подземные ходы и расщелины, встречаясь с огнем. "Этот огонь, по мнению Сенеки, питается частью битумами и серой, частью поддерживается химическим разложением определенных минералов, но этот процесс, кажется, Сенеке ясен не до конца" [78, с. 9].

Обобщая представления Сенеки, можно сказать, что он считал Землю твердой, с ходами и пустотами внутри. Большинство пустот наполнены или водой, текучей или стоячей, или газами

и парами. В отдельных местах существует подземный огонь - результат горения серы и битумов. Вулканизм проявляется при возгорании серы и битумов под действием поступающей воды. Поэтому вулканы, как и области землетрясений, распространены вблизи морей. Как мы далее увидим, близкие этим представления были распространены до начала XIX века, т.е. просуществовали почти две тысячи лет.

## 2. Представления о причинах вулканизма в средние века и период Возрождения

В средние века в Европе античная наука была забыта, наступило время застоя научной мысли (а мы знаем, что если нет движения вперед, стало быть имеет место движение назад), и явления природы объяснялись догмами священного писания. На вулканы, в частности, стали смотреть как на входы в ад. Многие сказания того времени подтверждают это, например сказание о Теодорихе (стихотворное переложение Кардуччи). Остготский король, обремененный годами и грехами, однажды во время купания увидел вороную лошадь, глаза которой горели, как угли. Это был сам дьявол, принявший образ лошади. Едва король сел в седло, как она понеслась по горам и долинам и затем исчезла вместе с всадником в Стромболи - в одном из отверстий ада, где Теодорих должен был получить воздаяние за казнь Боэция и Симмаха [56].

Естественнонаучные знания развивались преимущественно на Востоке: в Средней Азии и Арабском мире. Действующих вулканов на этих территориях почти нет, поэтому вопросы, связанные с вулканизмом, ученых тогда не волновали.

Постепенно научная мысль в Европе начинает пробуждаться, во многом благодаря знакомству с античной литературой. Так, немецкий ученый Альберт фон Больштедт (1193-1280), за свою образованность названный современниками Великим (Magnus) или универсальным (Doctor universalis), представлял Землю шарообразной, пронизанной пустотами и каналами, по которым циркулирует воздух, вода и огонь. Причиной вулканизма он, как и древнеримские авторы, считал горение в пустотах Земли горючих веществ при участии просачивающейся воды. Для объяснения действия вулкана он прибегал к эксперименту: в раскаленные угли

вдувал пар [25, с. 15]. При этом зола или пепел вместе с паром поднимались вверх, имитируя извержение. Само название тонких обломков, выбрасываемых вулканами - пепел (или зола), существующее около двух тысяч лет, возникло в то время, когда бытовало представление о вулканических извержениях как о горении горючих веществ в самой горе (конусе вулкана) или в находящейся ниже пустоте (очаге). Недаром слово "вулкан" у древних римлян означало бог огня или бог-кузнец. Конечным твердым продуктом горения, как известно, является пепел или зола, а при оплавлении более тугоплавких материалов - шлаки.

Как указывает Б.П.Высоцкий [II, с. 34], ссылаясь на К. Берингера, Больштедт был, вероятно, первым, кто прибег в геологии к модельному эксперименту, в результате чего был получен вывод: в вулканических явлениях материальной причиной служит сернистая земля, движущей-пар, который движется в Земле и не может вырваться.

Конрад фон Мегенберг в 1349 году опубликовал "Книгу природы", в которой обобщил существовавшие идеи о землетрясениях и вулканизме. Он считал, что землетрясения и вулканические извержения вызываются перемещением и столкновением камней, которые движутся внутри Земли газами [56].

В первой половине XVI века крупнейшей фигурой в геологии был Г.А.Агрикола (1494-1555), обобщивший многовековой опыт горняков Западной Европы. Ему было известно о повышении температуры при опускании в глубокие шахты. Причиной нагрева Г. Агрикола считал подземный огонь, при прорыве на поверхность которого происходит извержение вулканов. Этот подземный огонь считался результатом горения серы и битумов. Зная о подземных пожарах угольных пластов, прорывы такого огня Г.Агрикола относил к псевдовулканам.

Своеобразным было объяснение места вулканизма в жизни Земли, предложенное Леонардо да Винчи (1452-1519). Он создал представление о Земле, как о большом едином организме, где указано и место вулканам. "Итак, мы можем сказать, что Земля обладает вегетативною душою и что ее плотью является почва. Ее костями служат упорядоченные собрания камней, составляющие горы: хрящами являются туфы; ее кровь составляют жилы воды.

Тем озером крови, которое окружает сердце, является океаническое море; дыхание, приливы и отливы крови - ее пульс - образуют морские приливы и отливы. Теплота мировой души есть огонь, который таким образом живет внутри Земли, и это местопребывание вегетативной души сказывается в тех огнях, которые выдыхаются во многих местах Земли через горячие источники, в серных испарениях и, наконец, в вулканах Этны в Сицилии и в других местах" [48, с. 20].

Совершенно новое объяснение глубинного строения Земли было предложено Р. Декартом (1596-1650). К тому времени на Солнце были установлены пятна, которые считались более охлажденным веществом нашего светила. Декарт предполагал, что Земля первоначально была таким же светилом, как и Солнце. Затем Земля начала остывать, на ней появились пятна. Остывание Земли происходило более быстрыми темпами, чем Солнца, из-за ее меньшего объема. При дальнейшем остывании и взаимодействии частиц материи образовались другие оболочки Земли.

Глубинное строение Земли Декарт представлял следующим [25]. В центре находится огненное ядро, имеющее ту же природу, что и Солнце. Оно окружено плотной оболочкой из материала солнечных пятен. За ней расположена оболочка, в которой образуются металлы. Еще дальше от центра Земли находится водная оболочка. Наконец идет подземная полость, наполненная воздухом, выше которой развита поверхностная оболочка (земная кора), окруженная воздухом.

С помощью центрального огня Р. Декарт объяснял землетрясения. Оболочка из материала солнечных пятен имеет неравномерную плотность. В силу этого первичный огонь может проникать через нее в земную кору и вызывать сильные землетрясения. Причины вулканизма и более слабых землетрясений Р. Декарт видел в другом. Сначала в Земле образуется сера, быстрое движение частиц которой в пустотах приводит к возникновению плотного дыма, подобно копоти потушенной свечи. При попадании в такой плотный дым искры происходит воспламенение, вызывающее сотрясение свода пещер. Если же дым скапливается во внутренних полых частях гор, то при воспламенении его и прорыве на поверхность, происходит извержение вулкана.

На примере разбора взглядов Р.Декарта на причины вулканизма видно, как трудно освободиться от груза общепринятых представлений-парадигмы: даже приняв огненную сущность центра земного шара, он причину извержений вулканов оставил за горением серы в пустотах вблизи поверхности Земли или, как бы мы сейчас выразились, экзогенной. Понадобилось почти триста лет, чтобы поднятием первично расплавленного подкорового материала объяснить проявление вулканизма на Земле. Этот трехсотлетний интервал времени можно назвать переходным этапом представлений от экзогенной на эндогенную природу вулканизма.

Откуда взяться искре, чтобы зажечь под земной поверхностью горючие вещества. Иттигиус в 1663 году привлекал для этого грозы, которые проникая внутрь земного шара, воспламеняют и взрывают имеющиеся там горючие материалы [48, с. 20].

Проблема самовозгорания, получения тепла для вулканических извержений превратилась в главенствующую при объяснении причин вулканизма. Ускоренное развитие химии, физики, в том числе механики, способствовало появлению многих гипотез, каждая из которых со своих позиций пробовала объяснить такой сложный природный процесс, как вулканизм.

### 3. Представления о причинах вулканизма, высказанные в XVIII веке и в начале XIX века

В 1684 году М.Листер (1638-1711) сформулировал гипотезу, по которой деятельность вулканов вызывалась воспламенением в земных недрах под действием морской воды серного колчедана, т.е. за счет окисления пирита. В 1700 году ее подтвердил парижский врач и химик Н.Лемери моделированием извержения вулкана путем самовозгорания увлажненной серы и железных опилок. Согласно Л.Риччарди [56], Н.Лемери считал, что вулканические явления зависят от различных химических реакций, происходящих внутри земного шара. В подтверждении этого им при помощи лабораторного опыта была довольно правдоподобно объяснена причина вулканизма. Он клал в стеклянный сосуд смесь из измельченной в порошок серы и железных опилок, предварительно намочив их. После некоторого нагревания, необходимого для вызова начала реакции, реакция продолжалась самостоятельно с выделением такого большого количества тепла, что вся масса

смеси раскалялась. Этот опыт Н.Лемери назвал "искусственным вулканом". Он думал, что тоже самое, только в гораздо большем масштабе, повторяется в вулканах и что все вулканические явления могут быть объяснены соединением находящихся в недрах нашей планеты серы и железа. Н.Лемери признавал также существование в земном шаре центрального огня, которому предоставлял роль только возбудителя реакции между этими двумя элементами.

Так второй модельный эксперимент в геологии (первым, как уже отмечалось, был опыт Больштедта по вдуванию пара в раскаленные угли для объяснения причин вулканизма) снова направил мысль ученых по ложному пути.

В целях пропаганды своих представлений Н.Лемери проводил для публики у себя в саду такой опыт. Приготавливал смесь из серы, железных опилок и воды и зарывал ее в землю. Через определенное время смесь настолько сильно разогревалась, что верхняя корочка вспучивалась, и через разрывы в ней выходили языки пламени и выделялись обильные пары. Особый эффект опыт производил ночью - люди наблюдали извержение небольшого искусственного вулкана.

С тех пор почти до середины XIX века горение смеси серы и железа или пирита и битумов, при участии морской воды, считалось основной причиной вулканизма. Отчетливо это видно в представлениях Степана Петровича Крашенинникова (1711-1755) - первого исследователя Камчатки.

С.П.Крашенинников на Камчатке описал три действующих вулкана: Авачинскую, Толбачинскую и Камчатскую (Ключевскую) сопки. Кроме того, им показаны как действующие Жупановский вулкан и Шивелуч. Сообщается также о двух действующих вулканах на Курильских островах: один на Парамушире, а другой - Алаид. Авачинская сопка дымится с давних пор, но горит огнем лишь временами. С.П.Крашенинников описал ее извержение (он говорил о горении сопки) летом 1737 года, продолжавшееся более суток и закончившееся выбросом огромной пелловой тучи. После этого извержения на Курильской Лопатке (юге Камчатки) и островах (Курильских) было сильное землетрясение, сопровождавшееся несколькими волнами цунами. Перед наиболее крупной волной, высотой в тридцать саженей, воды океана далеко отхлынули от

берега, осушив пролив между первым и вторым Курильским островами (Шумшу и Парамуширом). На дне пролива стали видны скалистые горы, которые до этого никогда не были видны, хотя землетрясения и наводнения (цунами) происходили и ранее.

Также постоянно дымящейся описана и Толбачинская сопка. Но если раньше, по рассказам камчадалов, дым шел из вершины, то затем он переменял свое место, и огонь появился на гребне, соединяющим вулкан с другой горой. Именно оттуда в начале 1739 года поднялся огненный шар, который сжег лес на ближайших сопках. После этого выбрасывался пепел. Пепла выброшено было так много, что он покрыл снег толстым слоем, и С.П.Крашенинников, проезжавший на собаках в окрестностях вулкана, вынужден был остановиться и дожидаться нового снега. До и после этого извержения были небольшие землетрясения.

Самым высоким вулканом Камчатки С.П.Крашенинников определил Камчатскую (Ключевскую) сопку. Из ее вершины непрерывно идет густой дым, а огнем она горит раз в 8-10 лет. Чаше происходят пепловые выбросы - 2-3 раза в год. Затем он описал последнее сильное извержение Камчатской сопки. Началось оно 25 сентября 1737 года и продолжалось около недели. "Вся гора казалась раскаленным камнем. Пламя, которое было видно сквозь трещины внутри горы, устремлялось порой вниз, как огненные реки, с ужасным шумом. Внутри горы был слышен гром и треск, будто раздували сильные меха. Все вокруг дрожало. Особенно страшно было ночью, ибо в темноте все слышнее и виднее. Извержение закончилось, как обыкновенно, извержением тучи пепла." [31, с. 91].

После этого извержения 23 октября 1737 года было сильное землетрясение. Обрушились многие жилища камчадалов, рассыпались печи в казачьих избах. Землетрясения, постепенно ослабевающая, продолжались периодически до весны 1738 года. Цунами они не сопровождалось.

Местные жители - камчадалы, по сообщению С.П.Крашенинникова, так объясняли причину действий вулканов. По их представлениям, Ключевская сопка служит жилищем умерших. Когда покойники топят свои юрты - она горит огнем. Питаются умершие китовым жиром. Китов ловят в море, находящемся под землей. Жир

0851



употребляют для освещения, а кости вместо дров.

При объяснении причин вулканизма С.П.Крашенинников (по образованию ботаник) обычно ссылается на мнение Стеллера (врача экспедиции). Прежде всего указывается, что горят отдельные горы, а не хребты. Так как наружный вид этих гор одинаковый, то делается вывод, что их внутреннее строение одинаково. На вершинах гор, которые ранее извергали огонь, а затем потухли, находятся озера. Объяснение тому видится в следующем. Когда горы выгорали до самого основания, открывались трещины, по которым проникала вода, занявшая полое место.

В следующем разделе книги "О горячих ключах" причины вулканизма изложены более детально. Отмечается, что по частым землетрясениям можно заключить о нахождении в недрах Камчатки пустот и горючего материала. Благодаря его горению и внутреннему движению, на земной поверхности происходят большие изменения. Причиной горения считается соприкосновение соленой морской воды, проникающей в глубь Земли по трещинам, с рудами железа и горючей серой, что приводит к их воспламенению. И странными кажутся С.П.Крашенинникову две вещи: "во-первых, то, что нигде нет следов железа, хотя в глинах имеются его соединения; смешением их с серой легко можно объяснить подземный огонь; во-вторых, то, что до сих пор нет сведений о соленых источниках, которые, без сомнения, в этих местах должны быть, судя по узости Камчатского полуострова, подземному сообщению его недр с морем и многочисленными скалистыми горами и источниками" [31, с. 97-98].

Как отмечает Л.Ричарди [56], многие ученые Европы шли по стопам Н.Лемери и причину вулканизма видели в горении различных веществ, содержащихся в недрах Земли. Брейслак, например, считал, что вулканические извержения происходят от воспламенения нефти. Сен-Пьер рассматривал вулканы в качестве огромных пожаров на берегах океана, очищающих морскую воду от содержащихся в ней посторонних примесей. По его мнению, начало вулканической деятельности обусловлено разложением растительных и животных веществ, которые покрывали Землю после всемирного потопа, когда остатки лесов и гигантских животных отдаленных эпох плавали на поверхности морей и, уносимые те-

чениями, скапливались в огромном количестве у подножий гор. В таких скоплениях остатков растительных и животных веществ происходило самовозгорание, подобно тому, как это нередко бывает в стогах сена. Все последующие извержения являются результатом этого начального разложения, дающего о себе знать в течение многих веков.

Была предложена гидротермальная гипотеза (авторы Добре и Жюльен) причин вулканических явлений. Жюльен, например, принимал, что повсюду внутри земной коры существует постоянная циркуляция воды, просачивающейся через залежи солей, среди которых преобладает хлористый натрий. Проникая в глубину Земли, эти воды нагреваются, превращаясь в пары высокого давления. Если область циркуляции вод становится выше, это вызовет уменьшение давления пара, облегчая его расширение. В это же время каменные массы размягчаются от жары или скорее от особого огненно-жидкого состояния внутри Земли, становятся текучими настолько, что могут вместе с парами переноситься в виде кислых лав, если это происходит в областях более глубоких и богатых кремнием, и в виде основных лав, если местопребывания вулканической деятельности расположено выше. Наоборот, в случае опускания циркуляционной области, повышение давления препятствует выходу паров, и вулканизм проявиться не может.

В 1740 году аббат А.Л.Моро издал книгу "Новые исследования изменений земной поверхности". В ней содержится переплетение геологических взглядов с библейской историей сотворения мира. Первоначально Земля была покрыта сплошной водной оболочкой. Внутренний огонь был зажжен на третий день творения. Действие этого огня подняло из всемирного океана материк, острова и горы, появился органический мир. Затем в горах образовались трещины, через которые вырвались массы земли, песка, глины, металлов, серы, соли, битумов и различных минералов, отложенных в виде слоев и образовавших вторичные горы и равнины. Эти выброшенные массы засыпали животных и растений, сохранив во вторичных слоях их отпечатки и остатки. Ранее остатки морских животных в отложениях суши считали результатом действия всемирного потопы, а А.Моро сделал попытку объяснить это с геологических позиций.

Центральную часть земного шара А.Моро отдал ядру. Оно твердое и состоит из "земли". Крайние же части ядра представляют собой полости с огнем. Ядро окружено каменной оболочкой, за которой следуют водная и воздушная сферы. Огненно-жидкие окраины ядра активно воздействуют на каменную оболочку, обуславливая поднятия и опускания на поверхности Земли. Булканизм проявляется в том случае, если раскаленный огненный материал прорывается на поверхность. Представления, подобные высказанным А.Моро, завоевали гражданство через 100 лет.

В 1749 году французский естествоиспытатель Ж.Бюффон (1707-1788) в "Теории Земли" предложил гипотезу, согласно которой Земля и другие планеты были отторгнуты от Солнца в результате удара кометы. Как более мелкое небесное тело, Земля стала быстро остывать и покрылась твердой оболочкой, постепенно затвердев до самого центра. Быстрые течения воды первичного океана размывали выступавшие из-под воды части поверхности. Образовавшийся терригенный материал отлагался в спокойных частях морского бассейна, формируя слои осадочных пород. "Впоследствии часть воды ушла в глубины земли, вследствие чего обнажилась суша и появилась наземная растительность. После того, как значительное количество растений и другого горючего материала оказалось захороненным в молодых осадках, появились первые вулканы, извергающие продукты горения этих веществ. Внутреннюю энергию земного шара Бюффон в расчет не принимал." [66, с. 30-31]. Ж.Бюффон считал необходимым условием проявления вулканизма близость моря. Нужно, чтобы очаги вулканов сообщались с морем, иначе невозможно объяснить, почему каждое извержение сопровождается многочисленными потоками воды. Отвечая на возражения некоторых ученых о том, что вода самостоятельно не в состоянии подняться вверх в вулканы, Ж.Бюффон прибег к силе всасывания, вызываемой огнем, которая может поднять воду более чем на двадцать тысяч футов [56]. Пересмотрев затем частично свои взгляды, Ж.Бюффон пришел к выводу, что вода, выбрасываемая вулканами, обязана своим происхождением не морю, а дождям. Проникая по трещинам в вулканы, она скапливается в их пустотах.

Ряд ученых (Брейслак, Кордые и др.) принимали, что вода, изверженная Этной, происходит от таяния снега или от сильных ливней. Против этого выступал Доломье, указывавший, что если бы было непосредственное сообщение между морем и вулканическими очагами, или в вулканы поступала вода от таяния снега или от ливней, то эти воды мешали бы воспламенению. Полученные к тому времени материалы о действующих вулканах Америки позволили Брейслаку утверждать, что удаленность или близость моря не оказывает на вулканическую деятельность никакого влияния. Если все действующие вулканы Европы расположены вблизи берега моря, то в Америке некоторые вулканы отстоят от Тихого океана на 100 миль, что не мешает их извержениям.

Общеизвестны в настоящее время заслуги Михаила Васильевича Ломоносова (1711-1765) перед геологией: "Он был первым ученым, в трудах которого геология предстала как наука о развитии земного шара под действием эндогенных и экзогенных процессов" [66, с.43]. В его известных трудах: "Слово о рождении металлов от трясения земли" (1757) и "О слоях земных" (1763) приведены интересные соображения о причинах вулканизма, глубине формирования раскаленной лавы. Прежде всего М.В.Ломоносов дает теоретическое истолкование вулканическим явлениям. "Огнедышащие горы, как бы некоторые проломы в теле, показывают излишество материи, которое, подобно внутренней болезни, выходя наружу, движет и надувает приближенные части. Наконец прорвавшись испускает причиняющую сие материю, которая чем обильнее выходит, тем больше следует облегчение, и рана или заживает вовсе, или на долгое время. Горы таким же образом, то вновь поднявшись, загораются на некоторое время, и погасают; иные старую силу отыгают; инде со всем обрушившись, кончают свое свирепство вовсе, по малой мере как нам кажется; ибо по мере краткой нашей жизни две или три тысячи лет считаем почти всю вечностью" [39, с. 52].

Обстоятельно М.В.Ломоносовым доказывается глубинный характер вулканического процесса. И снова считаем необходимым привести дословное высказывание выдающегося ученого по этому вопросу, потому что любое пересказывание здесь просто не уместно. Доказательство глубинности вулканизма "находим в долго-

временном отрыгании дыму и пламени из вершин самых высоких гор, которые обыкновенно напрасно зовутся горящими: ибо суть ни что иное, как трубы, или отдушины, коими выходит подземного жара излишество. Рассудив Етну и Везувий, кои множество веков устрашают и вредят жителей, примерную смету показать можно, сколь много материи из них по воздуху и по отдельным частям земным рассыпалось, которая чрез Средиземное море в Африку, а иногда и до Египта досягает. Толь великое количество, есть ли бы из самых оных гор, или бы хотя из подземных мест в Неаполе и Сицилии выгорало, то бы конечно уже давно в выведенную под ними пропасть слабые своды провалились, отягощенные вагою самых сил гор и вокруг их лежащих, но безмерная глубина потаенной хляби, и потому своды толщины ужасной не допускают обрушиться оным землям столь многонародно населенным...» [39, с. 62].

Далее тот же самый вопрос рассматривается с позиции обеспеченности процесса вулканизма горючими веществами. Прежде всего сообщается, что "во внутренностях земных человеческими руками и самою натурою открытых" на небольшой или умеренной глубине много горючих сланцев (горючего шифера), каменного угля и дерева. На этих глубинах сколько-нибудь значительных скоплений серы и сульфидов не известно. Однако при извержениях вулканов серы и ее продуктов выходит "великое множество". В то же время установлено, что в глубоких рудниках сульфидов (горючей серы) значительно больше, чем в близповерхностных. Из этого следует, что "главное жилище горючей серы много глубже в земных недрах, нежели шифера и каменного угля, которые действительно родились на земной поверхности..." [39, с. 65].

Как гимн сере, первопричине вулканизма, звучат слова "Что ж к возгоранию удобнее серы? что к содержанию и питанию огня ее неодолимее? Ибо когда уже погашена быть кажется; от вшедшего воздуха снова возгорается, пока еще она расплавлена и пары свои довольно испускает. Какая горючая материя изобильнее оная из недр земных выходит? Ибо не токмо из челюстей гор отрыгается, и при горячих, из земли кипящих ключах и при сухих подземных продушинах в великом множестве собираются: но нет ни единой руды, нет почти ни единого камня, который бы

чрез взаимное с другим трение не дал от себя серного духу, и не объявил бы тем ее в себе присутствия" [39, с. 170].

Однако само наличие серы в глубинных частях земного шара является по мнению М.В.Ломоносова обязательным, но не достаточным условием начала вулканических извержений. Эта сера должна еще загореться. Отвечает он на этот вопрос так: "предполагаю, что внутренним движением нечувствительных частиц составляющих тела, следовательно и серу, большее производится трение внутрь земли, для сильного ее давления от тел на ней лежащих, которое должно быть тем больше, чем положение серы глубже; а от сильного трения серы необходимо должно воспоследовать возгоранию" [39, с. 170].

Из всего вышеприведенного М.В.Ломоносов делает вывод, что извержения вулканов, землетрясения и рождения новых гор не такие сильные, если причиной их является горение каменного угля и горючих сланцев. И наоборот, эти явления наиболее мощные, если участвует "в великой глубине находящаяся подлинно минеральная сера".

М.В.Ломоносов считал, что при своем образовании земной шар был в жидком, холодном состоянии, о чем говорит округлая форма нашей планеты. Затем отложились слои, согласно тяжести слагающих их частиц. В этом случае металлы должны были бы осесть первыми и расположиться к земному центру. Находки тяжелых металлов на земной поверхности или близко к ней свидетельствуют, по его мнению, о том, что металлы появились там после того, как земля отвердела и появилась суша в результате "обстоятельств, нужных к производству мест рудных".

В конце XVIII века самыми крупными геологами, придерживавшимися противоположных точек зрения по основным вопросам геологии, были А.Г.Вернер и Дж.Геттон. Немецкий ученый А.Г.Вернер считается главой школы нептунистов, а английский (шотландец) Дж.Геттон — основоположником плутонизма.

Как указывает В.В.Тихомиров [64, с. 34], большинство геологов второй половины XVIII века придерживались нептунистических идей. Этому способствовали открытия в области осаждения и кристаллизации солей из растворов, сделанные еще Р.Бойлем в XVII веке. Основоположником такого направления считается шведский геолог Т.Бергман, высказавший идею, что слоистые

породы являются продуктом разрушения массивных кристаллических образований, которые в виде кристаллов осели из первичных вод океана. Эти представления Т.Бергмана особенно горячую поддержку нашли в Германии, где в конце XVIII века окончательно оформилась школа непутизма. Общеизвестным главой ее стал профессор Фрейбергской горной академии, блестящий лектор Абраам Готлоб Вернер (1750-1817).

А.Г.Вернер не написал сам обобщающего курса геологии, или тогда чаще называли геогнозии. Представления А.Г.Вернера известны по публикациям его лекций. Наблюдая обнажения горных пород в Саксонии и не посетив ни одну из областей активного вулканизма, он, наследуя взгляды Ж.Бюффона, пришел к выводу о главенствующей роли воды в формировании внутреннего строения и внешнего облика земного шара.

В основе его воззрений лежало положение о том, что Земля произошла из раскаленной огненно-жидкой массы [24, с. 428]. При постепенном ее охлаждении водяные пары и газы конденсируясь, образовали вокруг земного шара единый непрерывный океан нагретой минерализованной воды, содержащей в растворенном состоянии большое количество различных минеральных веществ. Продолжающееся охлаждение земного шара и мирового океана, как составной части его, уменьшило растворимость этих веществ, и из воды начали выпадать в кристаллическом состоянии минералы, образовавшие гнейсы и граниты - полнокристаллические породы. Уменьшение минерализации воды первобытного океана, как и понижение ее температуры, вызвало отложение вслед за гнейсом кристаллических сланцев, а затем все более тонкозернистых пород вплоть до глинистых сланцев и глин. При отложении последних главенствующее значение имели уже не химические процессы (кристаллизация солей), а пришедшие на смену им механические (осаждение). Так объяснялась А.Г.Вернером наблюдавшаяся в природе зональность по мере удаления от считавшихся тогда древнейших гнейсов к новейшим глинистым сланцам, а от них к слоистым глинам и глинам, т.е. постепенные переходы от типично кристаллических образований к осадочным слоистым отложениям.

Исходя из этих представлений, все горные породы А.Г.Вер-

нер считал образовавшимися в четыре периода, соответствующим стадиям становления геологических формаций [70].

Сначала возникли "первозданные горы", состоящие из "химических осадков". Горные породы первого периода имеют кристаллическое сложение и образовались при кристаллизации вещества из вод первичного океана - "первозданного раствора" сложной химической природы. К ним отнесены гранит, гнейс, слюдястый сланец, первозданный известняк, первозданный трапп, порфир и сиенит.

Во второй период образовались переходные горы, сложенные горными породами, уже частично состоящие из химических осадков. Это переходный известняк, переходный трапп и серая вакка. По современным понятиям под ваккой подразумевается плотная глина, представляющая собой продукт изменения базальта.

Слоистые - "флецовые" - горы образовались в третий период. Сложены они полумеханическими осадками, включающими многочисленные окаменелости. К ним причислены такие породы как песчаник, известняк, гипс, каменный уголь и базальт. На основании чего же базальт отнесен к типично осадочным образованиям? Остановимся на этом более подробно.

Согласно сведениям И.И.Шафрановского [70], А.Г.Вернером опубликовано 33 печатных работы, из них 16 по минералогии и 11 по горным породам. Возможно, при наших подсчетах допущена ошибка, так как не всегда по названию работы можно точно выяснить ее содержание, например, "Замечания по поводу сочинения Видеммана "О некоторых венгерских ископаемых"<sup>Х</sup>, но в любом случае порядок цифр останется близким. Так вот что интересно! Из 11 печатных работ по горным породам 7 посвящены базальту, в основном его происхождению. Первая из них, опубликованная в 1788 году называется "Известие об открытии, сделанном на Шейбенбергском холме относительно происхождения базальта". Остальные все вышли в 1789 году. Среди них есть "О происхождении базальта на вершинах преимущественно высоких гор"

---

<sup>Х</sup> - все названия даны в переводе с немецкого по И.И.Шафрановскому [70].

и др. Из этого можно сделать вывод, что А.Г.Вернер понимал необходимость решения вопроса образования базальта (в то время уже высказывались представления о вулканической природе базальта - в 1774 году французским исследователем Н.Демаре) и провел специальные наблюдения по залеганию базальта в обнажениях. Чтобы понять сложность положения А.Г.Вернера, приведем еще одно название его печатной работы "Примечание к известию господина Фауста о базальте, лежащем над каменным углем и битуминозной древесиной в месторождении Мейснер в Гессене". Он писал, что "хрящ, песок и глина переходят одна в другую, глина - в серую вакку, а та - в покрывающий ее базальт как в горную породу самого новейшего между ними образования" [70, с. 135]. Залегание же базальта над каменным углем, явно поверхностного происхождения, указывало на осадочную - химическую природу базальта, т.е. выкристаллизовавшегося из воды. Поэтому А.Г.Вернер сделал вывод, что некогда, сравнительно недавно, был потоп, во время которого весь земной шар был покрыт водой, кроме самых высоких гор (он указывал на Альпы), "на которых базальта не находят".

Именно эти взгляды на происхождение базальта нанесли непоправимый удар всей нептунистической концепции А.Г.Вернера. В дальнейшем мы еще вернемся к оценке общегеологических представлений А.Г.Вернера с позиции современной космогонической гипотезы аккреционного образования Земли из холодного обломочного материала, с нового витка спирали познания показывающей сильные стороны нептунизма по сравнению с плутонизмом.

Сказав "плутонизм", необходимо указать, что к пятой (последней) группе гор А.Г.Вернером были отнесены огнедышащие или вулканические горы. "С ними он связывал лишь такие редкие породы, как фарфоровая яшма, пережженная глина, земляной шлак и полировальный сланец" [70, с. 136]. Вообще почему-то среди геологов бытует представление, что нептунисты вообще отрицали вулканизм как таковой. Объясняется это, видимо, тем, что у современных геологов вулканизм тесно ассоциирует с базальтом. А раз по происхождению базальт считался А.Г.Вернером осадочным, то о вулканизме и говорить не приходится. Между тем, все не так просто.

Во второй половине XVIII века продолжали выделять две главные силы, которые вызывают изменения в лике земного шара: воду и "подземный огонь". А.Г.Вернер главенствующее значение отдавал воде, хотя признавал наличие "подземного огня". Его он разделял на "тихий подземный огонь" в "плоских странах" и огонь, связанный с сильными землетрясениями и горением вулканов "в высоких странах и горах". Происхождение обоих этих огней, как и вулканов, связывалось с горением подземных залежей каменного угля. В 1789 году А.Г.Вернером была написана статья "Попытка объяснить возникновение вулканов как результат горения мощных залежей каменного угля". А так как горючие вещества находятся, как думали А.Г.Вернер и его единомышленники, на ограниченных участках земного шара, то разрушительная и созидательная деятельность огня значительно уступает действиям воды. Вулканическая деятельность, поэтому, относится только к последнему времени (после образования каменного угля), представляет местное явление и в древнейшие периоды жизни Земли не существовала.

Вот как А.Г.Вернер, много позже М.В.Ломоносова, объяснял длительность действия некоторых вулканов. "Рождается вопрос, от чего происходит столь долговременное горение каменного угля? Например, гора Этна горит более 2000 лет. Кажется, что угольям надлежало совсем истлеть. На вопрос этот отвечать можно, что слои и флецы (пласты) каменных углей горят весьма медленно, ибо сгорание происходит в запертном пространстве, где воздух весьма малое имеет течение" [70, с. 132]. Сравнение с более ранним и обоснованным объяснением этой проблемы М.В.Ломоносовым (см. с.22) получается не в пользу А.Г.Вернера, хотя М.В.Ломоносов не был только геологом, как А.Г.Вернер.

В целом можно сказать, что нептунизм не отрицал проявлений вулканизма, а считал их возможным после отложения на Земле каменного угля или, говоря с современных позиций, утверждал первичность осадочных и вторичность вулканических (магматических) горных пород.

Одним из главных положений нептунизма был взгляд о полном отсутствии каких-либо изменений в облике нашей планеты с тех пор, как она приняла нынешний вид, что полностью увязывалось

с библейским толкованием происхождения мира (Земля создана 5-6 тысяч лет тому назад, поэтому существенные изменения на ней произойти еще не успели). В связи с этим церковь всячески поддерживала нептунистическое учение, а противоположное представление - плутонизм (вулканизм) замалчивалось, представители его преследовались. "Парижская академия преследовала каждого вулканиста как богоотступника, как нового врага христианства, разрушающего непреложность священного писания, и несчастный Демаре, первый начавший говорить здесь против нептунистической теории, подвергся этой участи" [27, с. 14]. Однако вскоре церковь приняла и плутонические взгляды, которые лишь в более завуалированном виде проповедовали религиозное представление о сотворении сначала безводной и безжизненной Земли, затем после остывания появление на ней воды, а после и жизни.

Но несмотря на трудности, плутонизм как учение набирал силу, и в окончательном виде был сформулирован Джеймсом Геттоном (1726-1797). Основным труд его "Теория Земли" издан в 1788 году и написан, как сообщают современники, трудночитаемым языком. Исходя из этого, Джон Плейффер в 1802 году также в Эдинбурге издал "Иллюстрации к Теории Земли Геттона", по которым обычно и знакомятся с представлениями самого Геттона [80].

В разделе II "Характерные черты неслоистых тел" описаны металлические жилы, трапп и гранит.

Под траппом с современных позиций понимался базальт силла. В качестве аргумента о бывшем расплавленном его состоянии приводится столбчатая (колонная) структура тела. Объясняется, почему ее нельзя считать результатом "высушивания".

Каждая глава книги Дж. Плейффера состоит из параграфов. Приведем некоторые характерные названия параграфов главы "Трапп". Например, § 66 "Сокращение слоев на контакте с ними". § 67 "Уголь, сожженный трапповыми жилами". § 68 "Возмущения слоев трапповыми жилами". Все эти данные, безусловно, свидетельствовали не о водном (осадочном) происхождении траппа. "Показателем сплава или по крайней мере воздействия огня, которое наблюдается в траппах и является общим для многих мине-

ралов, служит наличие в них пирита, т.е. вещества, о чем мы говорили выше, которое из всех прочих больше всего служит причиной огня. Другим показателем сплава более характерным для траппа является то, что в жилах и массах он несет в себе кусочки песчаников или других поцобных пород, совершенно не растворенных, имеющих вид обломков породы, плавающих во флюиде достаточной плотности и вязкости, чтобы выдержать их вес. Хотя эти обломки были слишком тугоплавки для того, чтобы полностью расплавиться, они все же не остались совершенно неизменными, а стали в общем чрезвычайно сжатыми, по сравнению с той породой, из которой они появились" [80, с. 72].

Под гранитом Дж.Геттон понимал агрегатную горную породу, "в которой кварц, полевой шпат и слюда отличаются (отделены) друг от друга и не расположены слоями". Такая беспорядочная кристаллическая структура говорит о формировании гранита на глубине из расплавов, а поднимается гранит на поверхность под действием силы расширения, действующей снизу. Более того, подразумевается, что расплав (флюид) сам образовался за счет плавления погружившихся на глубину горных пород под действием подземного тепла, которое (§ 86 главы 3 "Гранит") называется вулканическим огнем, находящимся глубоко под поверхностью. Длительное существование подземного тепла, не сопровождаемого горением, доказывается наличием горячих источников, вулканов и землетрясений. Дж.Геттон придавал большое значение в развитии Земли вулканизму.

"Таким образом, единственным следствием тепла является расплав и расширение и то, что образует ядро земного шара может поэтому быть какой-то жидкой массой, расплавленной..." [80, с. 93].

Гнейсы и разнообразные кристаллические сланцы, по мнению Дж.Геттона, представляют собой обычные осадочные (механические) отложения, погруженные вглубь земного шара и измененные подземным теплом. Тем самым он первый отнес гнейсы и кристаллические сланцы к метаморфическим породам.

Одной из главных причин возражения Дж.Геттона против осадочного происхождения гранитов и гнейсов, как первичного осадка высоконагретого минерализованного начального океана, было совместное присутствие в этих породах таких различных

по растворимости минералов, как полевой шпат, кварц и слюда. Учитывая различную степень растворения этих минералов, следовало ожидать в природе не гранит и гнейс, а мономинеральные слои, сложенные каждым из этих минералов.

В заключение рассмотрим две оценки представлений Дж. Геттона, сделанные через 110 и 175 лет после выхода его основного труда. Дж. Геттон "руководствовался изучением так называемых жил, заполняющих трещины различных слоистых и неслоистых пород; происхождение трещин он приписывал разрывам, заполнение же их горной породой рассматривал, как вулканический процесс: по его представлению расплавленная масса вливалась в эти щели. Таким образом он рассматривал сначала происхождение базальта и по тем изменениям, которые наблюдаются в горной породе около жил, делал заключение о действии жара. Скоро он распространил свою теорию на все массивные породы, начиная с гранита, и утверждал, что он представляет застывшую расплавленную массу. Кристаллические сланцы он рассматривал как осадочные породы, измененные действием внутренней теплоты земли. Таким образом, Геттон является основателем спорного и до сих пор учения о метаморфизме, т.е. о тех изменениях и перекристаллизации горных пород, которые происходят после их образования. В развитии своих взглядов Геттон пошел весьма далеко и утверждал, что обычные морские осадки превратились только действием земной теплоты в известняк, песчаник, глинистый сланец и т.д." [46, с. 23-24].

Известный советский специалист по истории геологии В.В. Тихомиров [64, с. 43] характеризует Дж. Геттона как ученого, "который считал, что все горные породы прямо или косвенно обязаны своим возникновением воздействию высоких температур земных недр. Эта гипотеза, являющаяся основой учения, названного плутонизмом, исходила из положения, что вся история Земли состоит из бесконечного числа замкнутых циклов, во время которых поверхностные агенты разрушают сушу, обломочный материал сносится в глубокие зоны океана, где под действием внутреннего жара Земли происходит переплавление и метаморфизм рыхлых осадков, превращающихся в кристаллические горные породы. Нагревание вызывает расширение, влекущее за собой вспучивание

погруженных прежде участков земной коры и образование на их месте возвышенностей". И далее, "поскольку плутонизм говорил не только об образовании глубинных пород, но и о наземных излияниях, сторонников этого учения стали именовать также и вулканистами. В русской литературе это наименование получило широкое распространение, причем само учение стало более известно как вулканическое" [64, с. 44].

При всей кажущейся противоположности представления А.Г. Вернера и Дж.Геттона в объяснении причин вулканизма имели главное сходство: вулканизм проявлялся, по их мнению, после накопления осадочных пород, расплавление (горение каменного угля по А.Г.Вернеру) которых приводило к формированию вулканических пород. Тем самым, первичными они считали осадочные породы, а вторичными - вулканические. По этой причине не совсем верно Дж.Геттона считать основоположником плутонистов, объяснявших в XIX веке вулканизм поднятием первичного неостывшего расплава на земную поверхность, где образовывались вулканические породы, за счет разрушения которых возникали осадочные породы. Из учения плутонистов следовала первичность вулканических (магматических) и вторичность осадочных пород. Воззрения же Дж.Геттона с его погружениями осадков на глубину, их метаморфизмом и расплавлением можно считать предвестником учения о геосинклиналях.

Продолжали вносить свой вклад в выяснение причин вулканизма ученые, не занимавшиеся непосредственно геологией. Так, быстрое развитие химии в конце XVIII и в начале XIX веков побудило некоторых выдающихся химиков высказать свои предположения о причинах вулканизма.

Английский химик и физик Гемфри Дэви (1778-1829) в 1807 году электролизом из гидроокисей получил металлический натрий и калий. На основании того, что щелочные и щелочноземельные металлы, соприкасаясь с водой при обыкновенной температуре, окисляются с выделением огромного количества тепла, он предлагал объяснение вулканических извержений энергичному окислению водой этих металлов, которые в неокисленном состоянии должны находиться в недрах земного шара. Его гипотеза опиралась

на горении водорода, выделяемого из воды щелочными и щелочно-земельными металлами. Г.Дэви думал, что под вулканами эти металлы залегают громадными массами. Однако, как указывает А.А. Иностранцев [24], среди геологов гипотеза Г.Дэви, которая хотя и объясняла замеченную еще древними греками и римлянами закономерность приуроченности действующих вулканов к морским побережьям, признания не завоевала и встретила возражения. Уже тогда были получены данные по составу вулканических газов. Водорода в них, как это следовало ожидать из реакции  $2K + 2H_2O = 2KOH + H_2$ , в сколько-нибудь значительном количестве не устанавливалось. Это геологам было ясно даже без анализов - нагретые вулканические газы на воздухе не горели. При значительном количестве водорода в вулканических газах не могло быть и такого большого содержания в них  $CO_2$ , который в присутствии  $H_2$  восстанавливался бы до  $CO$ .

Другой не менее известный ученый - французский химик и физик Гей-Люссак (1778-1850) главной причиной вулканических явлений считал действие воды на "хлористые металлы" [56]. От этого развивается огромное количество тепла. Вещества, из которых возникает лава, плавятся, и образовавшийся насыщенный газами расплав получает силу, достаточную для того, чтобы прорвать земную кору и произвести вулканическое извержение.

На преобладающее влияние воды в вулканическом процессе, от наличия которой зависит пластичность лавы, вытекающей из кратера, указывал также П.Скроп. Он говорил, что вода при высокой температуре и большом давлении способна удерживать частицы веществ, составляющих лаву, друг от друга и делать лаву подвижной. Главным деятелем в явлениях вулканизма П.Скроп признавал силу, которая прорывает твердые слои земной поверхности, поднимает по образовавшимся трещинам на самую вершину вулкана тяжелый столб расплавленного вещества и затем выбрасывает его высоко в воздух вместе с загромождающими путь обломками пород. "Вся суть тут, без сомнения, в силе расширения какой-то электрической воздухообразной жидкости, которая стремится освободиться из массы подземной лавы..." [56, с. 12].

Такие гипотезы, считавшие действие воды главным фактором вулканических извержений, находили поддержку у многих геологов. Тогда даже казалось, что причины вулканизма окончательно вы-

яснены. "Уже нет больше сомнения относительно причин вулканизма, извержений вулканов. Это борьба заключенных в вулканической земле паров с массами раскаленной текучей лавы, с которыми она приходит в соприкосновение. Если по какому-нибудь случаю сообщение будет прервано, в действующем вулкане может наступить период покоя, хотя подземный вулканический процесс продолжает развиваться до тех пор, пока снова не откроется доступ воды к лаве и не возобновится образование паров, и вместе с тем и извержение. Уже более не тайна также и происхождение пара, принимающего столь значительное участие в вулканической деятельности - море является его главным поставщиком, снабжая вулканическую почву огромным количеством воды" [56, с. 12-13].

Наибольшее внимание из всех действующих вулканов тогда уделялось Везувия, расположенному среди густонаселенной местности (Кампании) с традиционно развитой культурой и наукой. В XVIII веке особенно сильными были извержения его 1751, 1754 и 1760 годов. В 1801 году в Париже вышла книга Брейслака (1748-1825), посвященная последним извержениям Везувия, которую П. Ниггли [48, с. 25] охарактеризовал "чрезвычайно типичной для существовавшего тогда смешения иногда поразительно острого наблюдения с полной беспомощностью в физико-химическом истолковании этого наблюдения".

Решение вопроса причин извержений Везувия Брейслак видел в самовоспламеняющихся соединениях фосфора с водородом. Несмотря на содержание в вулканических газах HCL, непосредственную связь вулканического очага с морской водой он считал маловероятной.

При построении своей гипотезы о возникновении извержений Везувия, Брейслак опирался на следующие наблюдения.

1. Преобладание HCL - эксгаляций.

2. Наличие больших количеств поваренной соли и нашатыря, которые считались продуктами сублимации. Постоянно также встречается углекислый натрий.

3. Минеральные воды Стабии содержат очень много поваренной соли. Минеральные воды и залежи поваренной соли в Кампании довольно часты.

4. У подножия Везувия находится нефтяной источник, а в окрестностях вулкана часто встречаются битуминозные породы.

5. В Апеннинах встречаются многочисленные залежи серного колчедана.

6. В известняках Везувия присутствует фосфорная кислота.

7. При извержениях Везувия часто выбрасываются блоки апеннинских известняков, обожженных в печи вулкана.

Как же начинается и происходит извержение? Медленное разложение пирита производит нужные количества тепла, чтобы начать возгонку нефти. Нефть уносит с собой некоторое количество фосфора. Образовавшаяся в результате перегонки жидкость попадает в полости внутренней части Везувия, содержащие соленую воду. Поступающая нефть не смешивается с соленой водой, а как более легкая, располагается над водой. Летучесть нефти обогащает газы водородом, который воспламеняется фосфором, принесенным той же нефтью. Воспламенением начинается период извержения. Близлежащие породы расплавляются, происходит усиленное испарение соленой воды, и образовавшиеся пары выбрасывают лаву на поверхность.

При всей кажущейся фантастичности приведенного процесса, взгляды Брейслака через 180 лет нашли подтверждение в реально наблюдаемых природных объектах, заверенных экспериментами с использованием изотопов кислорода [73].

Знакомство с географическим распространением вулканов и продуктов их извержений по всему земному шару убеждало многих естествоиспытателей в глубинной, а не нептунической, природе вулканизма. Особенно наглядно это видно на примере эволюции взглядов Л.Буха (1774-1853) и А.Гумбольдта (1769-1859). Первоначально они, прослушав курс лекций А.Г.Вернера, были восторженными сторонниками нептунизма.

Затем, во время своих путешествий в вулканические области Италии и, особенно, Франции Л.Бух убедился в несостоятельности нептунизма. Он нигде там не обнаружил залежей каменного угля, горение которого, по мнению А.Г.Вернера, должно было быть причиной вулканической деятельности. После работ на Канарских островах, им была выдвинута гипотеза "кратеров поднятия". Л.Бух предполагал, что поднятия образуются при расшире-

нии расплавленных масс, поднимающихся из глубин земного шара и внедряющихся в осадочные толщи. В центральной части поднятия, поэтому, выступают кристаллические породы, как более глубинные. Они окаймляются осадочными породами, обладающими общим наклоном от кристаллического ядра наружу. Магма в процессе своего внедрения раздвигает осадочные слои, в результате чего в них возникают складки и разрывы, а на поверхности над разрывами - вулканы. В центре поднятия образуется купол, при обрушении которого получается кратерообразная впадина, давшая название самой гипотезе.

Окончательный же переход на глубинную природу вулканизма связан с именем А.Гумбольдта. Он много путешествовал, в том числе по областям современного вулканизма Центральной и Южной Америк; что значительно расширило его знания о строении, расположении и действии вулканов. Как он сам указывал [18], к концу XVIII века все, что было известно о причинах вулканизма, основывалось, главным образом, на материалах изучения двух вулканов Италии - Везувия и Этны.

Закономерное расположение вулканов в Гватемале, Мексике, Перу, Индонезии свидетельствует, по мнению А.Гумбольдта, о приуроченности их к глубинным трещинам. Соединение вулканов то в отдельные кольцеобразные группы, то в двойные ряды служит для А.Гумбольдта решающим доказательством того, что вулканическая деятельность "зависит не от незначительных, протекающих близко к поверхности явлений, но от крупных, происходящих глубоко в недрах земли процессов" [18, с. 147]. Именно с этих позиций им объяснялось почему в восточной, бедной металлами части американского материка нет действующих вулканов и молодых вулканических пород (трахита и даже базальта с оливином). Все активные американские вулканы расположены в той части материка, которая лежит против Азии в длинной цепи Анд.

К проявлениям вулканизма А.Гумбольдт относит "все извержения подземного огня и расплавленной материи; столбы дыма и пара, которые спорадически поднимаются из гор, как возле Коларес после сильного Лиссабонского землетрясения; сальзы или грязевые вулканы, которые выбрасывают влажную грязь, асфальт и водород, как в районе Джирдженти (Агридженто) в Сицилии и Турбако в Южной Америке; горячие гейзеры, поднимающиеся под

давлением упругих паров; словом все действия грозных сил природы, которые таятся глубоко в недрах нашей планеты" [18, с. 143-144].

К грозным силам природы относятся и землетрясения. А.Гумбольдт приводит примеры о влиянии землетрясений на начало или прекращение извержений вулканов, расположенных в десятках и сотнях километров от эпицентров землетрясений.

Особенно сильное впечатление на ученых того времени произвело знаменитое Лиссабонское землетрясение 1 ноября 1755 года. Оно, в частности, послужило толчком (причиной) написания М.В.Ломоносовым его знаменитой работы "О слоях земных". А.Гумбольдт приводит сведения о колебании моря в результате этого землетрясения у берегов Швеции и на Антильских островах вблизи Южной Америки, что свидетельствует о планетарной масштабности подобных процессов.

Эти и другие примеры позволили А.Гумбольдту сделать вывод, что подземные силы проявляются двумя способами: "динамическим путем давления и сотрясения в землетрясениях или путем созидания и химических изменений - в вулканах... Они доказывают также, что эти силы действуют не поверхностно из тонкого слоя земной коры, а из недр нашей планеты через трещины и незаполненные жилы в отдаленных пунктах земной поверхности одновременно" [18, с. 149].

Принципиально отличными от всех ранее предложенных виделись А.Гумбольдту причины вулканизма. Предполагалось, что в недрах Земли находятся в расплавленном состоянии вещества (массы), сохранившиеся с ранней стадии формирования нашей планеты. Сквозь трещины, рассекающие растрескивающуюся земную кору, расплавы поднимаются вверх, затвердевая то в виде зернистых жильных пород, то выливаясь на поверхность, образуя покровы.

Рассмотрен А.Гумбольдтом и источник тепла для вулканических процессов. Сначала он, ссылаясь на Г.Дэви, пробует объяснить необходимое тепло окислением щелочных металлов недр планеты кислородом воздуха. Но затем указывает, что Г.Дэви вскоре сам отказался от своей гипотезы, когда выяснилось, что уже на незначительной глубине температура горных пород не зависит от

окисления кислородом воздуха. "Первичная природа подземной теплоты, как во всех планетах, — это самый процесс образования, отделения сгущающейся массы от космической парообразной жидкости, охлаждение земных пластов на разной глубине путем излучения. Все вулканические явления, вероятно, есть результат постоянной или временной связи между внутренней частью и поверхностью нашей планеты. Упругие пары выдавливают вверх через глубокие трещины расплавленные окисляющиеся массы" [18, с. 165].

Расширение знаний о географическом распространении вулканов, выявление их пространственного расположения между собой, особенно по изучению в Южной Америке, позволило А. Гумбольдту прийти к совершенно новому взгляду на природу вулканизма, отказавшись от поверхностного происхождения вулканов, что позволяет считать А. Гумбольдта основоположником плутонизма. Только с этого времени заканчивается длительный, более чем двухтысячелетний период представлений о наличии в недрах Земли пустот с циркулирующим огнем, водой и воздухом.

Представления о вулканизме как горении в близповерхностных пустотах земного шара горючих веществ отражали общий уровень развития естествознания от древних греков до начала XIX века. В основе их лежало положение о непродолжительном существовании нашей планеты (иначе горючие вещества давно бы израсходовались), отсутствии каких-либо круговоротов вещества и энергии в ее каменной оболочке. Все это вытекало из библейского постулата о недавнем сотворении Земли богом.

Фактические данные, получавшиеся при наблюдениях природных объектов — вулканов, не могли тогда анализироваться с позиции законов фундаментальных естественных наук, потому что законы эти еще не были открыты. Все это обуславливало дедуктивный способ мышления при попытках объяснения причин вулканизма. В основе дедукции лежит посылка (допущение). Таким допущением и было в геологии библейское восприятие возникновения Земли. Приходится только сожалеть, что влияние церковного наследия на проблему формирования и начальных стадий развития нашей планеты, как мы увидим из следующей главы, продолжается для большинства людей по настоящее время.

## ГЛАВА II. ПЕРИОД ОБЪЯСНЕНИЯ ПРИЧИН ВУЛКАНИЗМА ПОДНЯТИЕМ НЕОСТЫВШЕГО МАТЕРИАЛА ГЛУБИН ЗЕМЛИ

Воззрениями А. Гумбольдта о том, что вулканические извержения являются следствием постоянной или временной связи между внутренней расплавленной частью и поверхностью нашей планеты, не только заканчивается длительный период представлений о поверхностной природе вулканизма путем горения вблизи земной поверхности горючих веществ, но и начинается новый период в объяснении причин вулканизма. Первоначально вулканизм объяснялся поднятием неостывшего материала глубин Земли, затем вплоть до настоящего времени подъемом впервые попавшего на земную поверхность глубинного материала.

Теоретическим основанием этому служила гипотеза Канта-Лапласа об образовании Земли из раскаленного огненно-жидкого шара путем его медленного остывания. В результате охлаждения поверхность нашей планеты покрылась тонкой коркой - земной корой. Она сложена остывшим твердым материалом первичного расплава или, используя современные термины, магматическими горными породами. При этом химический состав горных пород земной коры вблизи поверхности и на глубине неодинаков. К земной поверхности подыались наиболее легкие продукты расплава, содержащие много кремния (силиция) и алюминия. Верхняя оболочка земной коры получила название сиаля. Ниже ее находится оболочка из горных пород большего удельного веса - сима (Si + Mg).

При разрушении на земной поверхности плутонических (магматических) пород возникают неплутонические (осадочные) горные породы. Следовательно, основой как наиболее распространенных геологических представлений XIX века, так и главным геологическим следствием гипотезы Канта-Лапласа являлась первичность магматических и вторичность осадочных горных пород. Именно на XIX век приходится становление геологии как науки с выделением основных ее разделов: стратиграфии, магматической геологии и тектоники. Говоря о магматизме, необходимо отметить, что к

огненным, плутоническим горным породам относились все явно кристаллические породы, в том числе гнейсы, сланцы, мраморы. Делалось это на том основании, что при охлаждении расплава происходит его раскристаллизация.

### I. Воззрения крайних плутонистов

В качестве примера рассмотрим представления С.Куторги - профессора С.-Петербургского университета, директора минералогического общества России, книга которого "Естественная история земной коры" вышла в 1858 году. Прежде всего в ней сообщается, что земной шар тверд не более чем до 50 км, а ниже вся внутренность нашей планеты расплавлена (представляет собой "расплавленное зерно"). Подтверждается это извержениями вулканов, деятельностью горячих источников. Если для прямого изучения расплавленной внутренней части земного шара никаких средств нет, то наблюдения за твердой земной корой показали, что состоит она из двух толщ, лежащих одна на другой. Нижняя половина земной коры произошла от застывшего расплавленного материала, сохранившегося во внутренней части земного шара, и поэтому названа корой огненной или плутонической. Наружная половина земной коры сформировалась из осадков дна океана, куда с суши сносились и сносятся продукты выветривания. Возникшие слои глин, песчаников и известняков образовали наружную водную или нептуническую кору.

История становления земной коры С.Куторги виделась следующей. "Когда из огненно-расплавленной массы земного шара, снаружи остывшей, образовалась первая плутоническая кора, то наружный вид ее, без сомнения, был очень прост и единообразен; надобно полагать, что вода облекала ее со всех сторон одним непрерывным океаном. Такое устройство не могло однако ж остаться неизменным: еще тонкая кора, действием расплавленного зерна, была местами поднята и, как первая суша, выдвинута из глубин моря. Внешность суши и морского дна должны были изменяться до тех пор, пока плутоническая кора, остывая все далее внутрь, не сделалась настолько толстой и твердой, что могла до известной степени противиться действию подземных плутонических сил. Суша местами снова опускалась под уровень

моря; на других точках происходили подъемы морского дна, являлись новые части суши...

В то же время дождевые и снеговые воды безостановочно размывали материки и острова, измененные обломки сносились в реки, озера и моря, осаждались на дне их пластами известняков, глин, песчаников, конгломератов, из которых сложилась вся толща непунической коры" [ 33, с. 147].

Горные породы, которыми сложена земная кора, образовались двояким путем: одни были первоначально расплавлены и потом застыли в виде кристаллов, а другие возникли на дне морей как осадки, в которых кристаллические сложения очень редки. Первые из горных пород названы огненными, плутоническими, кристаллическими. Вторые - водными, непуническими, осадочными. На с. III С.Куторги приведена в виде таблицы классификация горных пород (табл. I).

Некоторые читатели конца XIX века могут подумать: нужно ли вообще говорить о такой таблице, содержание которой для нас кажется сильно устаревшим. Представляется, что обсуждать такой вопрос необходимо. Во-первых, геология является не просто естественной наукой, но и естественно-исторической, так как изучает не только состав и строение земной коры, но и историю ее развития. Без знания же представлений о развитии земной коры невозможно оценить достоверность сегодняшних основных теоретических положений геологии, потому что они возникли не на пустом месте и во многом наследуют взгляды геологов прошлых поколений.

Во-вторых, приведенные в таблице I данные не так уж и устарели, если внимательно подойти к некоторым кардинальным положениям современной геологии. Например, вспомним, какими горными породами сложен фундамент платформ. Многие ответят (как и сообщается в геологических учебниках) - кристаллическими. Но таких образований в современной классификации горных пород нет, а есть осадочные, метаморфические и магматические. Синонимом же кристаллических пород и сегодня служат магматические породы. Вот и получается, что кристаллические сланцы, гнейсы, гранито-гнейсы и метаморфические граниты, которые и слагают фундаменты платформ, как породы кристаллические, по-

падают в разряд магматических или, как их называл С.Куторги, плутонических. Или возьмем более общий вопрос: преимущественно какими породами сложена земная кора? Ответ в абсолютном большинстве случаев будет таким - магматическими. Земная кора материков сложена гранитным и базальтовым слоями, а океанов - базальтовым. И если даже поставить названия слоев в кавычки, вещественная нагрузка сохранится. В то же время сейчас всем известно, что фундаменты платформ и основания складчатых областей (бывших геосинклиналей) сложены гранитами, гранито-гнейсами, гнейсами и кристаллическими сланцами, нижняя граница распространения которых никому неизвестна и ниже их никакие неметаморфизованные породы, т.е. осадочные и магматические существовать не могут. Снова получается, что метаморфические породы фундаментов платформ и оснований складчатых областей относятся к магматическим. Немногие из геологов сегодня могут ответить, в чем здесь дело. А вот сто-сто пятьдесят лет назад все было проще.

По мнению Б.Котта [57], при охлаждении Земли из огненно-жидкого шара появилась оболочка, состоящая из сланцев, гнейсов и гранитов. Глинистые сланцы, как быстро охладившиеся и потому мелкозернистые, слагают самую верхнюю часть оболочки. Ниже находятся кристаллические сланцы. Они были защищены вышележащими глинистыми сланцами от быстрого охлаждения, и кристаллы в них крупнее. Под более толстым экраном из глинистых и кристаллических сланцев еще более медленно кристаллизовались гнейсы, уже полностью кристаллические породы. На большей глубине под сланцами и гнейсами выкристаллизовались граниты с беспорядочным расположением слагающих минералов, хотя минеральный состав их такой же, как и гнейсов.

Затем под влиянием взглядов Ч.Лайеля представление Б.Котта о происхождении гнейсов и кристаллических сланцев существенно изменилось. В своей популярной книге о происхождении и внутреннем строении Земли [30], причины вулканизма им излагаются следующим образом. Прежде всего отмечается, что поверхность земного шара в первозданные времена должна была отличаться от теперешней, потому что она постоянно подвергается различным изменениям. Вода неустанно, хотя и медленно, разру-

шает неровности земной поверхности, сглаживая их. Вулканическая деятельность, "которую А. Гумбольдт удачно определяет как совокупность всех противодействий (реакций) внутренности нашей планеты, ее внешней коры", наоборот, вызывает подъем суши и образование на ней гор, хребтов и других неровностей. "Что разрушается одним, - восстанавливается другим, и наоборот". При этом только вулканическая деятельность "производит вдруг заметные изменения". В результате противоборства этих явлений изменяется форма материков, их поверхность, контур морского дна, суша неоднократно обращалась в морское дно, которое в свою очередь становилось сушей.

"Чем ближе геолог всматривается в историю образования Земли, тем неясственнее и неопределеннее становятся буквы, которыми она писана. Наконец они обращаются совершенно в иероглифы, и для того, чтобы их разобрать, необходимо прибегать к гипотезам. Эти неизбежные в геологии гипотезы тем естественнее и правдоподобнее, чем проще объясняют явления. Одна из таких гипотез, наиболее распространенная между геологами в настоящее время, состоит в том, что вся твердая земля в начале представляла расплавленную массу и вследствие постоянного охлаждения получила настоящий свой вид. Физики, астрономы и философы могут идти и дальше и принимать, что перед расплавлением она была газообразна и т.д.

Мы проследим эту гипотезу в ее важнейших следствиях и постараемся показать, каким образом можно объяснить из нее настоящее состояние земли [30, с. 3].

Итак, Земля была некогда огнежидкою. При остывании ее образовалась кора, "совершенно так, как при замерзании вода покрывается льдом". Тонкая кора под действием приливов и отливов, вызываемых воздействием Луны и Солнца, растрескивалась на куски, которые, однако, стремились вновь соединиться. Постепенно образовалась прочная кора, состоящая из спекшихся кусков. Она уже не разрывалась на отдельные глыбы, а только местами в ней возникали трещины. Земля, следовательно "дошла до состояния расплавленного ядра, окруженного со всех сторон твердую корю, которая в свою очередь была окружена тогдашнею атмосферою. Но воды еще не было. Она могла образоваться толь-

ко при охлаждении поверхности до той температуры, которая не превышает точки ее кипения" [30, с. 5].

При еще большем охлаждении произошла конденсация паров воды, и образовалась гидросфера. Началось разрушительное действие воды на поверхности Земли. Появились первые осадочные породы, химический состав которых одинаковый, "потому что вода постоянно находила один и тот же материал для разрушения и осаждения".

Между тем растрескивание земной коры продолжалось безостановочно как под влиянием притяжения Луны и Солнца, так и от сжатия остывающей коры, которая, оставляя внутри (под собой) все меньше пространства, выжимала огнежидкую массу из недр Земли. Выжатая раскаленная масса остывала как в трещинах, так и на земной поверхности над ними, образуя плутонические горные породы - гранит, порфир, диорит, базальт.

Если по каким-либо причинам на поверхности земного шара слои, осажденные водой, достигали значительной мощности, они препятствовали испусканию "теплорода" из глубин нашей планеты. Повышавшаяся в силу этого температура под этими слоями могла или расплавить породы слоев как и всей образовавшейся земной коры, или сильно их изменить, превратив осадочные породы в кристаллические. Так им стало объясняться происхождение кристаллических сланцев и гнейсов.

Толщина земной коры оценивалась около 10 миль, хотя допускались цифры и от 20 до 50 миль.

Продолжающееся охлаждение Земли, как можно было бы предполагать, должно привести к тому, что планета наша станет необитаемой. Но, как указывает Б.Котта, не следует забывать, что "уже давно поверхность земли согревается одними только солнечными лучами". Поэтому в настоящее время внутренний жар никакого отношения к внешней поверхности земного шара почти не имеет. В силу этого температура Земли никогда не будет меньше средней температуры поверхности.

Охлаждение земного шара приведет к прекращению вулканической деятельности. Неровности на земной поверхности перестанут возникать. Вода "размоет все выдающиеся части земного шара; горы, горные хребты и даже материки мало-помалу подвер-

гнутся этой участи и, не будучи восстанавливаемые вулканизмом, выполнят все углубления, все неровности дна океана, и поверхность земли вновь, как и при начале образования воды, покроется морем" [30, с. II].

Под вулканизмом Б.Котта понимал не только извержения вулканов, а более сложный процесс, выражающийся и в поднятии отдельных участков земной коры первичным расплавленным материалом. Вулканы, по его представлениям, это постоянные проводники, соединяющие огнежидкую внутренность земного шара с его поверхностью. Он был основоположником представлений о первичной базальтовой магме.

О закономерном расположении сланцев, гнейсов и гранитов говорил и С.Куторги: "во всех частях света слюдяные сланцы занимают одинаковое место в строении горных краяхей: середина или стержень хребта всегда из гранита; на оба бока его налегают пласты гнейса; на них слюдяные сланцы, потом хлоритовые и тальковые и наконец кнаружи, все замыкается глинистыми сланцами" [33, с. 41]. Исходя из этого, при описании плутонической коры сообщается, что сложена она из двух систем горных пород: из формации (системы) первородного гнейса и из формации первородных сланцев. Гнейс, как лежащий глубоко в огненной коре у самого расплавленного материала (зерна) всегда образуется первым, потому и называется первородным гнейсом. За ним кнаружи лежит формация сланцев.

Необходимо отметить, что уже в первой половине XIX века (ранее в XVIII веке об этом говорили нептунисты) наиболее глубокозалегающими, а стало быть и наиболее древними из известных горных пород принимались гнейсы (гранито-гнейсы, граниты). Природа же их, исходя из представлений, вытекавших из гипотезы Канта-Лапласа, объяснялась огненной. В настоящее время этот еще более расширенный фактический материал о сложении наиболее древних образований нашей планеты гнейсами (яркий пример - бурение сверхглубокой Кольской скважины) не учитывается геологами, считающими земную кору состоящей из магматических пород. Тем самым, сейчас господствуют представления, игнорирующие фактические данные о строении земной коры и продолжающие рассматривать ее первичной корой охла-

дения расплавленного шара.

Говоря о вулканизме, С.Куторги отмечает большую силу вулканических извержений, обширный круг действия и связь с ними землетрясений. Все это заставляет искать причину вулканизма глубоко под земной корой: "первоначальный жар лавы едва ли не доводит нас до расплавленного зерна земли..." [33, с. 170]. В целом, все имеющиеся данные позволяют С.Куторги считать вулканы наружными отдушинами огромных и очень извилистых каналов в земной коре, ведущих прямо к расплавленному подкоровому материалу. Вулканы, поэтому, для земной коры являются предохранительными клапанами (приводится аналогия с предохранительными клапанами паровых котлов), выпускающими из глубин лишние пары. Без этих отдушин-вулканов на земном шаре продолжали бы подниматься новые хребты, как во времена поднятий Урала, Альп, Кордильер.

Само извержение вулкана, по мнению С.Куторги, происходит следующим образом. После очередного извержения на оставшейся в кратере лаве застывает корка. Сжатые под нею газы и пары воды взрывают ее. Раздробленная на куски различной величины лава выбрасывается усилием сжатых газов.

Представления о вулканах как отдушинах в земной коре были широко распространены в XIX веке. Не обошел вниманием этот вопрос и известный французский писатель-фантаст и пропагандист достижений науки Жюль Верн. И хотя в научной литературе обычно не принято приводить примеры из художественной литературы, думается для нашей работы, рассматривающей историю взглядов на причины вулканизма, такое исключение можно сделать. Итак, отрывок из книги "Дети капитана Гранта", написанной Ж.Верном в 1867-1868 годах. "Место для кратера было выбрано в тридцати шагах от могилы Кара-Тете. Важно было, чтобы извержение пощадило могилу, ибо с исчезновением ее перестало бы действовать табу.

В этом месте Паганель заметил огромную каменную скалу, вокруг которой клубились пары. Очевидно, эта скала прикрывала небольшой кратер, естественно образовавшийся на этом месте, и лишь ее тяжесть препятствовала извержению. Если удастся откатить камень в сторону, то пары и лава тотчас вырвутся

наружу через освободившееся отверстие.

Землекопы использовали в качестве рычагов колья, вырванные из частокола, и с силой начали выворачивать огромную каменную глыбу. Под их дружным напором глыба вскоре закачалась. Они вырыли для нее по склону горы небольшую траншею, по которой та могла бы скатиться вниз. По мере того как они приподнимали глыбу, сотрясение почвы ощущалось все сильнее. Из-под тонкой коры земли доносились глухой рев и свист пламени. Отважные землекопы, словно циклопы, раздувающие огонь, работали молча. Вскоре несколько трещин, из которых выбивались горячие пары, показали, что место становилось опасным. Но вот последнее усилие, и скала, сорвавшись с места, стремительно покатилась вниз по склону горы и скрылась из виду.

В эту же минуту разверзся тонкий слой земли, из образовавшегося отверстия с шумом вырвался огненный столб и хлынула кипящая вода и лава; потоки их устремились по склону горы к лагерю туземцев и в долину.

Вся вершина содрогнулась. Казалось, она вот-вот рухнет в бездонную пропасть.

Гленарван и его спутники еле успели спастись от извержения, отбежав за ограду могилы, но все же легкие брызги почти кипящей воды ошпарили их. Вода сначала распространяла легкий запах говяжьего навара, а затем сильный запах серы. Ил, лава, вулканические обломки - все слилось в едином потоке, бороздившем склоны Маунганаму. Соседние горы осветились отблеском извержения...

Вся клокочущая огненная масса, сдерживаемая до сих пор поверхностью вершины Маунганаму, ибо достаточным выходом для нее был вулкан Тонгариро, теперь, когда ей открыли новый выход, со страшной силой устремилась в него, и в эту ночь, вследствие закона равновесия сосудов, другие вулканические извержения значительно ослабели" [7, с. 447-448].

Такое образное изложение причин вулканического извержения и описание самого извержения надолго запоминается читателям, являясь лучшим способом пропаганды научных представлений о вулканизме.

Важную роль в утверждении учения вулканизма среди рус-

ских геологов сыграл Герман Вильгельмович Абиx (1806-1886). В течение 30-х годов прошлого века он изучал вулканические области Италии. После переезда в начале 40-х годов XIX века в Россию (был профессором Дерптского (Тартусского) университета) Г.В.Абиx занимался изучением геологии Кавказа, в частности молодого вулканизма Армении. "Под словом вулканизм мы теперь понимаем с Гумбольдтом совокупность явлений внутренности земного шара на его наружную оболочку, производящихся еще и теперь" [1, с. 105]. Являясь ортодоксальным вулканистом, он отложения доломита, соли и гипса в девонских отложениях европейской части России объяснял действием плутонических па-ров. Грязевые вулканы на Северном Кавказе рассматривал "клапанами" глубинного вулканизма.

Специалисты, занимавшиеся непосредственно вопросами вулканизма понимали, что одного наличия расплавленного материала под твердой земной корой еще недостаточно для начала извержения. Необходимо поднять этот расплав из глубин на земную поверхность.

Густав Бишоф, профессор химии в университете Бонна обсуждал две гипотезы, объяснявших причины вулканических явлений. Первая из них, уже рассмотренная нами в конце предыдущей главы, считает вулканические извержения результатом интенсивных химических процессов, в результате действия которых освобождается большое количество тепла, приводящее к появлению лавы и подъему расплава на поверхность Земли. В качестве примера им приведена гипотеза Г.Дэви, основанная на взаимодействии щелочных и щелочно-земельных металлов с водой. Главным недостатком ее, указывает Г.Бишоф, является малое присутствие щелочей в вулканических породах. Кроме того, наличие горячих источников и повышение температуры по мере погружения в рудниках, свидетельствует о высокой температуре внутренней части земного шара, которая должна находиться в расплавленном состоянии. В этом случае объяснение вулканизма делается более простым.

Согласно второй гипотезы, "Земля на определенной глубине представляет раскаленное тело, и оно является главной причиной вулканических явлений" [75, с. 26]. Произведя расчет вли-

яния гидростатического давления горных пород с учетом температур и давлений внутри Земли, Г.Бишоф пришел к выводу о малой эффективности такого процесса для объяснения вулканизма.

Продолжая анализировать гипотезу о постепенном повышении температуры к центру земного шара, где находится раскаленное (a red and white heat) ядро, Г.Бишоф рассмотрел эффект протекающей с поверхности в земную глубь воды, которая там превращается в пар. Этот пар и является движущей силой вулканического процесса, поднимающего кверху лаву из вулканического очага.

Принимая, что на определенной глубине существует расплавленная масса, не следует считать, указывает Г.Бишоф, что лава возникает при плавлении твердых тел (как по гипотезе Г. Дэви), а наоборот, необходимо принять, что "расплавленные массы существовали с момента создания мира". Механизм вулканического извержения иллюстрируется рис. I. На нем АВ - граница между твердой корой и расплавленной внутренней массой. СД - широкий канал, осуществляющий связь между поверхностью и расплавленными массами. ЕФ, QH, JK, LM - узкие щели, проводящие воду из морей или же подземных резервуаров. F, H, K и др. - каверны в основании твердой коры, образованные при быстром подъеме расплава во время предыдущих извержений. Если допустить, что вода, проникая по щелям в каверны превратится там в пар, то возникшее давление пара на первичный расплав заставит его подниматься через канал СД на поверхность.

Если нижнее отверстие в широком канале у Д находится на одном и том же уровне, что и вся граница АВ, то только небольшое количество расплава будет поднято вверх, поскольку верхняя поверхность расплава вскоре опустится ниже АВ, и пар своим давлением не сможет его поднимать к началу канала СД. Если же нижнее отверстие СД первоначально будет ниже поверхности АВ, значительное количество лавы поднимется по каналу СД, прежде чем верхняя поверхность первичного расплава АВ опустится ниже отверстия СД. То же самое может произойти, если отверстие канала СД снизу обрастет обломками твердых пород, погрузившись в жидкую массу. Эти обломки можно рассматривать как "результат постепенного затвердевания жидких масс

при подъеме снизу вверх по каналу, потому что при охлаждении происходит кристаллизация расплава". С поднятиями расплава связаны землетрясения.

В.Л.Грин [77] принимал фигуру Земли в виде кристаллического тетраэдра с выпуклыми гранями, что объяснялось спецификой остывания первично расплавленного земного шара. Земная кора из сегментов, плавающих на жидком ядре, по его мнению, хорошо объясняла причины вулканизма: погружение соседних сегментов вызывает подъем подкоровой жидкой глубинной массы, состав которой им, как и Б.Котта, считался базальтовым.

Заканчивая рассмотрение взглядов вышеуказанных геологов первой половины XIX века на причины вулканизма, необходимо подчеркнуть одну очень важную мысль о том, что расплав в глубине Земли существовал всегда, потому что она сама как планета возникла из огненно-жидкого тела. Не нужно было выяснять условия образования расплава (лавы, а потом появился и термин "магма"), его, можно сказать, брали в готовом виде. В принципе такой подход к условиям образования магмы не изменился и позже, когда было выяснено, что расплавленной оболочки внутри Земли нет. Расплав базальтового состава в готовом виде получали за счет плавления высоконагретых веществ глубин Земли; в настоящее время, например, из верхней мантии ультраосновного состава. Это кажется само собой разумеющимся, потому что основы современной геологии, в том числе и ее раздела "Магматизм", заложились именно в середине XIX века.

## 2. Воззрения умеренных плутонистов

Принятие наукой гипотезы Канта-Лапласа о происхождении Земли из раскаленной газовой туманности имело большое прогрессивное значение. Указывая на эволюционную, длительную во времени историю развития нашей планеты: формирование земной коры, образование атмосферы и гидросферы, появление жизни, эта гипотеза наносила окончательное крушение религиозным догмам о быстром (7 дней) и недавнем (5-6 тысяч лет) образовании Земли.

Почву для принятия гипотезы Канта-Лапласа подготовили многие поколения ученых, начиная с Р.Декарта. Длительный пе-

риод подготовки положений, окончательно сформулированных гипотезой Канта-Лапласа, сразу после утверждения гипотезы в науке вызвал ряд существенных возражений против ее геологических следствий: объяснение вулканизма поднятием на земную поверхность неостывшего, первоначально расплавленного материала, а горообразования - сморщиванием тонкой твердой земной коры при продолжающемся охлаждении расплава подкоревой части земного шара и др.

Прежде всего у физиков вызвала сомнение сама возможность образования твердой земной коры над расплавленной глубинной оболочкой. Симеон Дени Пуассон (1781-1842), например, указывал, что отвердевание первоначально расплавленной Земли должно было начаться с центра. Появившиеся при охлаждении ее поверхности твердые глыбы, как более тяжелые, должны были опускаться вниз. На глубине они расплавились, понижая температуру внутренней части земного шара. Постепенно последующие твердые глыбы достигали центра Земли, и оттуда процесс полного отвердевания распространялся к земной поверхности.

К тому времени выяснилось, что приливы, возникающие под воздействием Луны, проявляются не только в гидросфере, вызывая периодические колебания уровня моря, но и в твердой земле. Незначительные колебания земной поверхности от таких приливов свидетельствовали о большой упругости вещества земного шара, что невозможно при жидком состоянии его недр. Начавшиеся сейсмические исследования показали, что упругие колебания, как продольные, так и поперечные типа сдвига, от очагов землетрясений распространяются до глубин более 3 тысяч километров, что было бы невозможно при наличии внутри Земли пояса расплавленного материала.

Геологи не могли не учитывать эти данные точных наук, поэтому многие из них стали придерживаться представлений о твердом состоянии недр нашей планеты (гипотеза ригидизма). Крайние (ортодоксальные) воззрения плутонистов уступили место представлениям Чарлза Лайеля (1797-1875), считающегося основоположником современной геологии. Им разработано учение о медленном и непрерывном изменении земной поверхности под влиянием постоянных геологических факторов, действующих и в

современную эпоху. Предложенная Ч.Лайелем эволюционная теория развития Земли (актуализм) была крупным шагом на пути к материалистическому пониманию природы. Воззрения Ч.Лайеля рассмотрены в главе III.

Крупной фигурой среди геологов конца XIX века был австрийский ученый Эдуард Зюсс (1831-1914). В основном научном труде его - "Лик Земли", приведены сведения о региональных исследованиях геологического строения материков, о строении земной коры их с позиции контракционной гипотезы. Им предложены многие понятия: ювенильные воцы, батолиты, симатическая и сиалическая оболочки и др., которыми пользуются геологи и в настоящее время.

Ссылаясь на А.Добре, Э.Зюсс развивает представление об образовании Земли за счет скопления вещества метеоритов, которое упорядочено (дифференцировано) по удельному весу в теле нашей планеты. В этом случае, по его мнению, за ядром никелиевого железа должна следовать оболочка из никелиевого железа с перидотитом, переходящая в оболочку из магниевых силикатов, которая содержит меньшее количество железа. Затем идет оболочка полевошпатовых горных пород, а самые легкие метеориты, содержащие уголь, рассматриваются как туфы.

В земном шаре им выделяются три крупные оболочки, "как массудающие для свойств Земли": глубинная сфера (ядро) или (Ni-Fe), далее сима (Si-Mg) и сиаль (Si-Al). Каменная оболочка, объединяющая симу и сиаль, простирается на 1400 км, имея удельный вес от 3,0 до 3,4 г/см<sup>3</sup>. Ниже находится ядро протяженностью 5000 км и плотностью вещества 7,8 г/см<sup>3</sup>. Такое расчленение, как подчеркивает Э.Зюсс, находит подтверждение сейсмическими наблюдениями, по которым наиболее четкая граница раздела скоростей сейсмических волн проходит в 1500 км от земной поверхности.

В качестве представителя симы, в веществе которой должно быть много никеля, кобальта, железа, присутствие платины, иридия, золота, указываются руды и вмещающие их породы месторождения Сэдбери (Канада). Сима может быть сложена также серпентинитом с хромитовым железом.

Мощность сиалической оболочки небольшая, так как удель-

ный вес вещества ее  $2,7 \text{ г/см}^3$  при среднем удельном весе Земли  $5,5-5,6 \text{ г/см}^3$ . Типичные металлы сиалической сферы или вообще не известны в спектре Солнца, или присутствуют там в незначительном количестве. Отсюда Э.Зюсс делает вывод, что если бы Земля по своим свойствам была похожа на Солнце и если бы она имела первоначальный вид огненного шара, в сиале металлов было меньше, чем на самом деле известно.

Сиалическая оболочка "является главным образом гнейсом, или более того, суммой разнообразных и преобразованных осадков и батолитов, которые объединены под этим названием". Типичными представителями ее служат гнейсы Байкала с содержанием  $\text{SiO}_2$  от 65 до 66% и красные гнейсы Рудных гор с  $\text{SiO}_2$  до 76%.

Стратисфера или молодая слоистая (осадочная) оболочка, имеющая мощность около 2000 м и лежащая над гнейсом, гранитом, кварцитом и другими кембрийскими и докембрийскими отложениями, образовалась за счет сиалической оболочки, а именно путем выветривания ее пород.

Вулканизм Э.Зюсс, сторонник хотя и нагретой, но уже твердой Земли, объяснял дегазацией глубинных частей планеты. Он считал вулканизм незначительным проявлением грандиозных процессов, происходящих в глубине. Рассматривая постепенное обнажение и частичное разрушение вулканических построек центрального типа, он приходит к установлению денудационных рядов, которые показывают, "что насыпные вулканы земной поверхности генетически связаны с огромными массами изверженных пород, залегающих глубже и обозначенных Зюссом новым термином "батолиты". [ 50, с. 193].

На примере термина "батолит" видна эволюция взглядов Э. Зюсса на глубинное строение Земли. Сначала он, придерживаясь взглядов крайних плутонистов, считал батолиты бездонными телами, уходящими своими корнями в глубинную расплавленную массу. Затем, перейдя на позиции ригидизма, уже не говорит о бездонности батолитов.

Как отмечает Э.Зюсс, то, что причины вулканизма в подъеме лавы газами, узнали давно. Не ясно было, откуда эти газы берутся. Объяснялась природа газов близостью морей и т.д. Но

решение вопроса в другом. Показано это на примере формирования горячих источников. "Расплавленное железо содержало много газов, при остывании они выделялись, что происходит и до сих пор". В результате образуется два вида вод. Первый - вадозные, охватывающие все воды земной поверхности и артезианские воды. Второй - ювенильные, возникающие при выделении из глубин Земли водорода, который затем соединяется с кислородом атмосферы, образуя ювенильную воду. Как и ювенильный водород, вулканы выбрасывают ювенильные хлор, фтор, серу, мышьяк, углерод и др. Когда ювенильный водород встречается с неограниченным количеством вадозной воды, то происходят грандиозные взрывы, подобные извержению Кракатау в 1883 году.

Горячие источники, поскольку они ювенильные - это ослабленная форма вулканизма.

При каждом вулканическом извержении увеличивается количество вадозных вод, и атмосфера периодически обогащается газами. В отличие от того, как раньше считали, что воды океана питают вулканы, Э.Зюсс пришел к противоположному выводу, что "воды океана являются результатом дегазации планеты" [81, с.631]. Геотермическая ступень теряет свое значение для определения происхождения ювенильных терм. Солнце показывает состояние почти свободной дегазации, Луна полностью закрыта (дегазирована). Земная кора отдала свои летучие и находится в средней фазе. Дегазация на Земле происходит не так свободно, как на Солнце, потому что ей препятствует литосфера.

В истории представлений о причинах вулканизма довольно часто наблюдается возврат к ранее высказанным взглядам на новом, более научно обоснованном уровне. Примером могут служить воззрения Дж.Геттона, Ч.Лайеля, затем учение о геосинклиналях, которые объясняли вулканизм расплавлением погружившихся осадочных горных пород. Подобную же приемственность имеют и более экзотические гипотезы. На с. 13 указывалось, что еще в 1349 году К. фон Мегенберг причину вулканических извержений видел в перемещении и столкновении камней, которые движутся внутри Земли газами.

В XIX веке были предложены две механические гипотезы причин вулканизма. Первой из них А.А.Иностранцев [24] назы-

вает гипотезу Мора. Положив в основу своей гипотезы данные о том, что при падении 440 г земли с высоты одного метра при ударе о препятствие выделяется тепло, количество которого будет достаточным для нагревания одного грамма воды на  $1^{\circ}\text{C}$ , Мор предложил свое объяснение проявлениям вулканизма. В земном шаре есть пустоты. При более или менее значительных обвалах и провалах вышележащих горных пород в пустоты будет выделяться достаточное количество тепла, чтобы расплавить горные породы. Давление вышележащих и упавших горных пород поднимет образовавшийся расплав на дневную поверхность - начнется извержение вулкана. По этой гипотезе для объяснения причин вулканизма не было необходимости в привлечении огненно-жидкого состояния вещества глубинных частей земного шара.

В противоположность этому, гипотеза Р.Маллета, предложенная в 1874 году, основана на предположении, что в центре Земли находится огненно-жидкое ядро, окруженное толстой твердой каменной оболочкой. По мере охлаждения ядро сокращается, и земная кора в некоторых местах лишается опоры и оседает по образовавшимся трещинам. От трения и дробления при таких перемещениях будет выделяться тепло. Значительное повышение температуры приведет к плавлению оседающих пород. Тем самым, Р.Маллет предполагал, что лава вулканов представляет собой продукт плавления твердых горных пород. Давление погружающихся блоков твердой оболочки способствует выдавливанию лавы по трещинам на земную поверхность. Подтверждение своих взглядов Р.Маллет доказывал расчетами и опытными данными. В частности, он показал, что самые крепкие горные породы дробились при нагрузке (мгновенной) 14 тонн на 1 кв. дюйм. Опыты проводились на небольших отдельных кубиках горных пород.

Через столетие геологи снова вернулись на более возросшем научном уровне к объяснению причин вулканизма расплавлением за счет трения погружающихся в фокальной плоскости горных пород. Погружением плиты океана под материковую пытаются решить проблему современного вулканизма островных дуг [61].

Наиболее близкие к современным взгляды на причины вулканизма высказал Мельхиор Неймайр (1845-1890) - австрийский палеонтолог и геолог. Сначала М.Неймайром [47] приводится крат-

кая история взглядов на причины вулканизма. Температура, отмечает он, при погружении в недра Земли растет и на глубине 66 км при геоградиенте 33 м  $1^{\circ}\text{C}$  должна достичь  $2000^{\circ}\text{C}$ . "Должны ли мы здесь заключить, что внутри Земли лежит огненно-жидкая масса?"

Еще Р.Декарт и Г.В.Лейбниц предполагали существование в глубине земного шара огненно-жидкого ядра, но только Г.С.Лаплас, Ж.Б.Ж.Фурье и др. дали научную основу этой гипотезе (Канта-Лапласа в современном понимании). Повышение температуры к центру нашей планеты и существование горячих ключей подтверждает ее фактическим материалом, а лавы, изливающиеся из вулканов, доказывают существование внутри Земли расплавленной массы. Сходство химического состава лав в различных местах земного шара дает право предполагать единое их происхождение из большой, общей центральной массы и говорит против объяснения вулканических явлений местными процессами. Сильные колебания материков, наблюдавшиеся во все периоды истории Земли вплоть до самого последнего времени, вызывались существованием под ними какой-то подвижной основы. Толщина твердой земной коры оценивается не менее чем 14-20 миль.

Однако физики и астрономы выступали против существования огненно-жидкого ядра, "но безуспешно". Гопкинс, например, рассчитал, что происходящие в твердой части нашей планеты приливы и отливы, вызванные притяжением Луны и Солнца, свидетельствуют о мощности земной коры в 170-215 миль. Отсюда он сделал вывод, что земной шар представляет собой твердое тело, в котором только местами могут находиться полости, заполненные огненно-жидкой массой. Эти вычисления Гопкинса, по мнению геологов, указывает М.Неймайр, построены на ложном основании: "расплавленная внутри земная масса не представляет собой настоящей жидкости, как думает этот ученый, а густа и тягуча настолько, что движения отдельных частиц ее сопровождается большим внутренним трением; кроме того, трение наблюдается и на месте соприкосновения расплавленной массы и земной коры" [47, с. 23].

Затем критически рассмотрены построения С.Д.Пуассона (см. с. 50) о затвердевании первоначально жидкой Земли от

центра, а не с поверхности. Многие факты, считает М. Неймайр, не подтверждают справедливости этих представлений. Многим геологам приходилось видеть лавовые потоки, но никто не замечал, чтобы застывшие глыбы опускались с их поверхности в глубину. Наоборот, остывший материал образует кору, в которой, как в трубе, движется лава. Из этого наблюдения делается вывод, что то же самое происходило и на Земле, когда она представляла собой огромный расплавленный шар. Расплав ее перед началом застывания должен был стать густым и тягучим, и только после этого начали образовываться на его поверхности застывшие твердые участки, которые, если даже плотность их была больше плотности расплава, погрузиться в него уже не могли. Вообще нужно отметить, что подобные рассуждения с игнорированием законов физики и химии (плотность твердых кусков больше, чем плотность расплава, но погрузиться в расплав они не могли) весьма характерна для мышления геологов прошлого и настоящего времени.

Окончательное доказательство против того, что Земля имела первоначальное жидкое состояние исходя из ее шарообразной приплюснутой формы, высказанное еще И. Ньютоном, было дано физиком У. Томсоном (лордом Кельвином - 1824-1907) и математиком Дж. Дарвиным (1845-1912). Путем математических расчетов эти английские ученые пришли к выводу, что шар с диаметром и скоростью вращения, подобный земному, состоящий из стекла, стали или какого-нибудь другого твердого вещества, под влиянием центробежной силы должен сплюснуться у полюсов. Тем самым выяснилось, что сплюснутая форма земного шара не свидетельствует о его расплавленной внутренней части.

В связи с этим необходимо отметить следующее. Объясняя вулканизм поднятием неостывшего первичного расплава, плутонисты полностью игнорировали существовавшие до них на протяжении более двух тысяч лет представления о близповерхностной природе вулканизма. Такой подход к построению новых гипотез, как теперь выяснено, противоречит важному методологическому принципу, сформулированному Н. Бором в 1913 году и получившему название принципа соответствия. Согласно этому принципу, всякая более новая (общая) гипотеза должна включать в себя старую

гипотезу. Старая гипотеза получается из новой при определенных значениях определяющих ее параметров, т.е. является частным случаем новой (общей) гипотезы. Если же это не соблюдено, то новая гипотеза не имеет права на существование.

Поэтому нет ничего удивительного в том, что фактический материал более точных наук (физики, сейсмологии) не подтвердил вулканических следствий гипотезы Канта-Лапласа. Ведь даже при сохранении геотермального градиента  $3^{\circ}\text{C}$  на 100 м постоянным, а с погружением он обязан был возрастать, на глубине 100 км температура должна была быть не менее  $3000^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре все горные породы, даже находясь под высоким давлением, будут расплавлены. Между тем, сейсмическими исследованиями оболочка расплавленного материала на глубине 100 км и глубже не зафиксирована. В этом случае нужно было отказаться от представлений на вулканизм как на процесс подъема первичного расплава глубин планеты, так как наличие такого расплава, считавшегося к тому же источником внутреннего тепла, в земной коре не подтвердилось.

Уже в середине XIX века некоторые геологи, поэтому, стали сторонниками представления о твердом состоянии вещества земного шара. Причину твердого состояния глубин Земли объясняли сильным давлением, которое, несмотря на высокую температуру, препятствует плавлению.

С другой стороны, извержения вулканов как будто говорили против целиком твердого земного шара. В геологии возникла странная ситуация: вещество недр планеты твердое и в то же время из глубин поступает расплавленный материал. Выход нашел Рейер (издал в Вене в 1887 году "Физику извержений", а в 1888 году в Штутгарте "Теоретическую геологию"), показавший, "что и твердая магма, находясь под сильным давлением, способна к извержению. Если в вышележащих твердых массах появится трещина и вследствие этого начнет уменьшаться давление, то магма перейдет опять в жидкое состояние и будет вырваться наружу" [47, с. 25]. При этом, естественно, подразумевалась первоначально расплавленная природа Земли, объяснявшая высокую температуру ее недр.

Как же объяснял вулканические явления сам М.Неймайр.

Предпосылкой для объяснения причин вулканизма ему служили представления о происхождении Земли. Он указывал, что все звезды и планеты или обладают очень высокой температурой, или же были таковыми и постепено охлаждались. Нет основания сомневаться, что и Земля развивалась по тому же пути. Весьма вероятно, поэтому, что причиной повышения температуры с глубиной является та теплота, которой обладала протоземля при отделении ее от Солнца. Это объяснение принимается почти всеми геологами, так как о высокой температуре недр земного шара свидетельствует деятельность вулканов, поднимающих к земной поверхности раскаленную лаву. Протуберанцам на Солнце приписывалась вулканическая природа: "... самые страшные вулканические процессы, наблюдаемые на земле, ничтожны в сравнении с этими явлениями" [46, с. 76].

Принятие за основу объяснения явлений вулканизма гипотетического общетеоретического представления о происхождении Земли из раскаленного огненно-жидкого тела (дедуктивный подход) автоматически повлекло за собой полное игнорирование действительно наблюдаемых природных явлений погружения осадочных пород в области, где может произойти их метаморфизм и расплавление. Не удивительно поэтому, гранит и гнейс, как имеющие одинаковый минералогический состав и отличающиеся друг от друга только тем, что гнейс обладает более ясно выраженной сланцеватостью, считались М.Неймайром породами одинакового происхождения - застывшими из расплава. Вопрос о разработке моделей вулканизма с учетом круговорота вещества в земной коре отвергался как нецелесообразный. Не рассматривалось влияние регионального метаморфизма (многими геологами такое явление вообще отрицалось) на развитие вулканизма. Подобное положение сохранилось и по настоящее время: только подъем вещества из глубин без всякой компенсации погружения. Ранее при объяснении вулканизма горением горючих веществ или плавлением погружившихся осадочных пород (Дж.Геттон, Ч.Лайель) такой круговорот подразумевался.

Не удивительно поэтому, что М.Неймайр категорически отрицает возможность любых других объяснений вулканизма:

I. Не знаем ни одного химического процесса, который был

бы широко проявлен в земном шаре и совершался бы с такой напряженностью, чтобы мог вызвать наблюдаемое с глубиной повышение температуры.

2. То же самое можно сказать о превращении механической работы в теплоту.

Объясняя причины вулканических явлений, М.Неймайр рассматривает их с двух позиций: явления, происходящие в кратере во время извержений, и само возникновение вулканов (огнедышащих гор).

Непосредственной причиной извержений из кратера служат пары и газы, выделяемые лавой. Происхождение их может быть двойким: первичное, т.е. уже при образовании Земли огненно-жидкая масса ее была пропитана газами, и вторичное. Последнее объясняется проникновением воды по трещинам горных пород в глубины Земли, где в силу высокого давления вода легко поглощается расплавом. М.Неймайр оспаривает предположение о главенствующей роли в этом процессе морской воды невозможностью в этом случае присутствия в газах огромного количества углекислоты, наличия борной кислоты и отсутствия в продуктах вулканической возгонки брома и йода. "Извержения обуславливаются той влагой, которая заключается в горных породах, и вода, проникающая в лаву из атмосферы, играет значительно большую роль, чем вода океана" [46, с. 299].

Однако само возникновение вулкана не может быть объяснено действием паров и газов. Они только способствуют поднятию лавы к дневной поверхности и извержению ее из кратера. Для удовлетворительного решения вопроса о причинах становления вулканов необходимо учитывать положение о нахождении вещества глубин Земли в полужидком состоянии (видимо с этого времени и стал использоваться термин "магма" - по-гречески - густая мазь, правда, в отличном от современного понимании). Чтобы отвердевшая, но накаленная магма могла немедленно перейти в жидкое состояние, требуется образование трещины, что вызывает уменьшение давления.

Но и в случае с возникновением глубоких трещин, как отмечает М.Неймайр, не все с вулканической деятельностью делается понятным. Не устраняются затруднения с объяснением пе-

риодичности извержений вулканов, а главное — часто извержениям не предшествуют землетрясения, при которых эти трещины должны формироваться. Отметим от себя, что на земном шаре много районов активного вулканизма, где землетрясения вообще не происходят: Антарктида, остров Реюньон, Коморские острова, острова Зеленого Мыса, юг Чили и др.

В целом, вулканические явления М.Неймайр рассматривал следствием охлаждения и сокращения объема Земли. Распределение вулканов на земном шаре, по его мнению, свидетельствует о приуроченности их к областям опускания (расположение вулканов по морским побережьям) или главным горным системам. Возникновение областей опускания и горных гряд М.Неймайром объяснялось с позиции гипотезы контракции. Раскаленное ядро (под ним, надомним, понималась вся внутренность земного шара, лежащая ниже земной коры), охлаждаясь, сокращается сильнее, чем холодная кора. Последняя, поэтому, как бы съеживается, образуя горы. Другие участки земной коры при этом оседают (области опусканий). Оседающие участки давят на магму, заставляют ее по трещинам подниматься вверх и удерживаться вблизи земной поверхности. Накопившиеся в расплаве пары и газы вызывают извержение.

В заключение М.Неймайр пришел к следующему выводу. Хотя объяснение причин вулканизма охлаждением и сокращением Земли представляется наиболее вероятным, более или менее ясно представить себе эту связь и установить истинную последовательность явлений пока невозможно. Вулканы, несмотря на многочисленные труды выдающихся исследователей, представляют еще много загадочного.

Все последующие представления о глубинном характере вулканизма в основе своей имеют много общего с только что изложенными. По мере развития знаний уточнялись источники тепла (радиоактивный распад), более разнообразным становилось строение земного шара с выделением земной коры, мантии и ядра, предполагался их различный химический состав, но суть процесса оставалась прежней — подъем на земную поверхность готовой глубинной магмы.

Определенная эволюция взглядов если не на сам процесс

вулканизма, то на классификацию его продуктов видна у профессора Петербургского университета Александра Александровича Иностранцева (1843-1919). Рассматривая геологическую деятельность вулканов, он указывал, что под вулканизмом понимаются те из явлений на земной поверхности, которые "обусловлены высокой температурой внутренних частей нашей планеты" [24, с. 133]. К таким явлениям отнесены вулканы, в том числе грязевые, землетрясения и колебания материков относительно уровня моря.

Главную причину вулканизма А.А.Иностранцев видел во внутреннем содержимом огненно-жидкого вещества, находящегося под громадным давлением и очень высокой температурой и образующего непрерывный слой под твердой земной корой. Приуроченность действующих вулканов к горным областям, где часты землетрясения, позволяет допустить, что образующиеся при землетрясениях трещины дают возможность нагретому глубинному веществу увеличиваться в объеме и приближаться к земной поверхности. Мощности твердой оболочки земного шара не выдерживается на всем протяжении одинаковой. Она толще на материках, особенно в горных областях, и тоньше в морях и низменных участках материков. При этом вопрос: почему вулканы находятся в горных сооружениях, где земная кора толще и до нагретого вещества дальше, а не в низменных местах материков с их более тонкой корой, не ставился и не обсуждался.

Горы формируются при образовании складок от охлаждения земного шара. Складки являются не только поверхностными формами, но уходят на разную глубину огненно-жидкой массы. Состав же последней на разных глубинах неодинаковый. Поднятием расплавленного глубинного вещества с различных глубин объясняется разнообразие лав вулканов.

Особо подчеркнута главенствующая роль воды в вулканической деятельности. Именно участием воды объясняется подъем глубинных расплавленных масс (он еще не употреблял термина "магма") на дневную поверхность. Состав вулканических газов, продуктов возгона, содержащих хлористые и серные соединения, свидетельствует о преимущественном участии в вулканических явлениях морской воды. Общая схема этого процесса дана следующей. Морская вода по трещинам в горных породах проникает до

расплавленной огненно-жидкой массы, растворяется в ней, увеличивая объем расплавленного вещества, и заставляет его по трещинам подниматься к дневной поверхности. По мере поднятия вверх давление уменьшается, вода превращается в пар и, расширяясь при этом, выдавливает внутреннюю расплавленную массу на земную поверхность.

Своеобразным характеризуется А.А.Иностранцевым образование горных пород. "Происхождение той или другой горной породы немислимо без участия одного из трех главных деятелей: атмосферы, воды и вулканизма" [24, с. 425]. В зависимости от того, будет ли принимать участие в образовании горной породы вода или вулканизм, породы по происхождению будут осаочными или изверженными.

При образовании изверженной породы затвердевание огненно-жидкой массы в горную породу может происходить на глубине внутри земной коры или на дневной поверхности. Различные условия кристаллизации, независимо от состава массы или времени ее извержения (еще совсем недавно липаритом называли только молодые, кайнозойские, кислые эффузивы, а более древние (палеотипные) эффузивы того же состава именовали кварцевыми порфирами; другой пример - базальт-диабаз) должны отразиться на строении горных пород. Со ссылкой на К.Розенбуша (1836-1914), массивные (изверженные) горные породы разделялись на две большие группы: глубинные (подземные) и лавовые (наземные) или эффузивные. Отсюда в дальнейшем возникла трудность в преподавании студентам классификации магматических пород, сохранившаяся до сих пор, в отнесении к эффузивным, по природе своей излившимся, породам вулканических туфов и тефры (пирокластов), количество которых в сооружениях вулканов, обычно значительно превышает роль эффузивов. Выход был предложен самим А.А.Иностранцевым. "Глубинные или подземные породы Розенбуша ("массивные извержения" Рихтгофена и Рейера, ирруптивные породы англичан, батолиты Логарио, Зюсса) в общем соответствуют плутоническим породам (плутонитам) старых петрографов, а его лавовые или наземные горные породы (эруптивные породы англичан, кратерные извержения Рихтгофена и Рейера, наконец, просто лавы) соответствуют прежним вулканическим породам (вулканитам)" [24, с. 366]. Приходится только сожалеть, что геологи прошли

мимо такой простой классификации будущих магматических, а тогда изверженных, горных пород: глубинные - интрузивные, поверхностные - вулканические, разделяющиеся в свою очередь на излившиеся - эффузивные и образовавшиеся при выбросах раскаленных обломков лавы - пирокластические.

С осадочными и изверженными породами, пишет А.А.Иностранцев, встречаются и такие, которые, сохраняя признаки, свойственные осадочным или изверженным, в то же время резко от них отличаются. В качестве примера указываются гнейсы и кристаллические сланцы. Они составляют метаморфические породы, измененные главным образом химической деятельностью воды. Изменения горных пород, производимые водой, уже настолько неоспоримы, что мнение ученых, отрицающих и даже уничтожающих метаморфизм неприемлемо. Более того, если согласиться с представлением об изменении горных пород просачивающейся водой, то необходимо прийти к выводу, что чем древнее горная порода, тем больше она должна быть изменена, если в ней были "части, способные подвергаться изменению". Следовательно, наиболее древние горные породы и должны быть наиболее измененными. "Так как гнейсы относятся к самым древним из всех известных геологических образований, а эти породы, как было указано выше, постоянно возбуждали и возбуждают бесконечные споры о своем происхождении, то, по выше сделанному заключению, необходимо признать за такими породами наибольшую, возможную степень изменения" [24, с. 447-448].

Как геолог, много работавший в поле, А.А.Иностранцев не мог не видеть в природных объектах свидетельства круговорота вещества горных пород. "Из всего вышесказанного о составе, происхождении и метаморфизме горных пород, представляется возможность сделать следующий вывод: каждая горная порода зарождается одним из рассмотренных выше способов; под влиянием гидрoхимических процессов в ней происходят изменения, которые можно назвать ее жизнью, и наконец, под влиянием процессов выветривания, связь между отдельными составными частями породы нарушается, и она распадается в песок и щебень, которые делаясь достоянием атмосферы и текущей воды, могут уноситься и смешиваться с другими подобными же продуктами. Такой процесс

уничтожения данной горной породы надо назвать ее смертью" [24, с. 456].

В этих мыслях заключен большой философский смысл. Действительно, горные породы по своему образованию могут быть осадочными или магматическими. Преобразование формирует метаморфические породы. Уничтожение или смерть горных пород всех типов А.А.Иностранцев допускает только на земной поверхности от выветривания. Но где смерть, там начинается и новая жизнь. Для полного круговорота вещества горных пород ему не хватило локального плавления как высшей стадии метаморфизма.

В начале XX века попытку обобщить геологические знания своего времени предпринял участник русского революционного движения, польский геолог Юзеф (Иосиф Дементьевич) Лукашевич (1863-1928). В работе "Неорганическая жизнь Земли" (1908-1911), написанной, в основном, во время его заключения в Шлиссельбургской крепости, он рассмотрел проблему механизма круговорота вещества в земной коре.

Органический мир земного шара Ю.Лукашевич противопоставляет неорганическому. Если первый "есть дитя солнца и живет за счет свободной солнечной энергии", то индивидуальная жизнь минералов обусловлена главным образом внутренней энергией Земли и ограничена снизу всерасплавляющим жаром, а сверху - деятельностью солнечных лучей, которые непосредственно или при содействии воздуха, воды и организмов стремятся раздробить, размельчить, растворить минералы.

Минералами Ю.Лукашевич называл все простые тела и химические соединения, встречающиеся в природе, независимо от того, в каком состоянии вещество минерала находится - в твердом, жидком или газообразном. К минералам отнесены лед, вода, водяной пар, углекислый газ, самородное золото, кальцит, слюда и др. Горными породами, как состоящими из минералов, предлагается считать магму, океаническую воду, атмосферу и даже газовое раскаленное ядро, выполняющее центральную полость нашей планеты. "Чтобы сделать наглядной справедливость этой точки зрения на горные породы, вообразим, что земной шар охладился до абсолютного нуля. Тогда вся вода океанов образует сплошную кристаллическую породу огромной мощности (около 4 километров), по-

крывающую приблизительно 3/4 земной поверхности. Точно также и атмосфера, сгустившись и затвердев, образовала бы кристаллическую породу из кислорода, азота и аргона, покрывающую сплошь весь земной шар и достигающую мощности 10 м. И магма, охлаждаясь, застывает в различные горные породы. Было бы не последовательно отказываться в названии горной породы одному и тому же веществу, занимающему одно и то же место на нашей планете, в зависимости от повышения или понижения температуры и давления" [41, с. 30].

Земная кора, по мнению Ю. Лукашевича, имеет толщину не более 100 км и представляет собой тонкую оболочку, плавающую на магме — первоначально расплавленном материале, выполняющим всю подкоровую часть земного шара. Следовательно, твердая земная кора возникла при застывании поверхностного слоя огненно-жидкой магмы, и потому первичными твердыми породами являются изверженные. Разрушаясь и выветриваясь, они дали начало осадочным породам, которыми сложена верхняя треть земной коры, а нижние две трети ее состоят из изверженных пород. Выделяемые метаморфические породы (сланцы и гнейсы) как бы негласно им отнесены к осадочным, свидетельствуя об отсутствии потребности при изложении истории развития Земли как в метаморфических породах, так и в процессе метаморфизма. Это видно из того, что метаморфические породы включены в кругооборот осадочных пород: "глины → сланцеватые глины → глинистые сланцы → филлиты → слюдяные сланцы → гнейсы → глины" [41, с. 239]. Осадочная оболочка земной коры Ю. Лукашевичем разделена на две зоны: поверхностную и сланцеватую. Поверхностная зона сложена глинами, песками и другими подобными им породами. Сланцеватая зона разделена на четыре яруса: 1) ярус сланцеватых глин и глинистых сланцев (глубина от 3 до 7-8 км); 2) ярус филлитов (9-12 км); 3) ярус слюдяных сланцев (13-17 км); 4) ярус гнейсов (18-25 км). Затем, уже в "батической" зоне, занимающей всю толщу земной коры от сланцеватой зоны до области магмы, гнейсы переходят в гранито-гнейсы и в граниты. Гранито-гнейсы и граниты уже считаются изверженными породами, застывшими из магмы. Ниже их находится магма базальтового состава, которая более тяжелая, чем кислые изверженные породы, поэтому земная кора и плавает на оболочке магмы, а не тонет в ней.

Переходя к непосредственному объяснению К. Лукашевичем причин вулканической деятельности, необходимо отметить важное его замечание, опускаемое большинством современных исследователей, о непродолжительности жизни любого конкретного вулкана. "Хотя жидкая магма до сих пор имеется под корой, но ни один вулкан не действует в течение многих миллионов лет. Это указывает, что в сущности вулканы питаются бассейнами магмы в литосфере" [40, с. 201]. Как же возникают такие бассейны магмы?

Указывается, что вулканические явления находятся в связи с внутренним расплавленным ядром Земли, которое покрыто столетометровой земной корой. Продолжающееся охлаждение внутренней части земного шара приводит к уменьшению ее объема. Земная кора при этом коробится, сжигивается. Возникающим на земной поверхности возвышенностям и складчатым горам в магме под земной корой соответствуют углубления, так как "чтобы более толстый слой земной коры мог плавать на магме, необходимо, чтобы он был глубже в нее погружен. Верхние слои магмы находятся под громадным давлением, равным весу земной коры, т.е. приблизительно в 25000 атмосфер. Это давление с огромной силой будет вгонять магму в образовавшиеся трещины в земной коре. Если трещина идет доверху, то поднимающаяся магма, благодаря инерции, не только может достигнуть вершины трещины, но и вылиться наружу... Итак, сильное сжатие земной коры может выдавить некоторое количество магмы на земную поверхность. При нормальных условиях уровень магмы в трещине должен быть ниже отверстия, так как магма плотнее средней плотности горных пород в земной коре" [40, с. 117].

Для образования вулкана в этом случае необходимо, чтобы магма корового гнезда (поднявшаяся в кору, порция магмы) по восходящей трещине могла подняться почти до земной поверхности, и к этому бассейну магмы притекала с дневной поверхности вода (рис. 2). Просачивающаяся вода постепенно поглощается магмой, насыщая ее водяными парами. Когда давление водяных паров превысит сопротивление тонкого слоя осадочной породы, прикрывающей трещину или просто корку из застывшей наверху лавы, произойдет взрыв. Через образовавшуюся отдушину с огромной силой начнут вырываться водяные пары, увлекая за собой обломки

горных пород (распыленную или разорванную на куски лаву). Скапливаясь у отдушины, обломки образуют конус вулкана. Уменьшение давления в трещине может вызвать поднятие и излияние магмы на земную поверхность. Весь этот процесс приведет к обеднению магмы водяными парами и извержение прекратится.

Предложенная схема работы вулкана, по мнению Ю.Лукашевича, позволяет объяснить расположение вулканических построек у областей опускания (где несомненно имеются или имелись глубокие трещины) и вблизи морей или на островах. Впрочем, для извержений вулканов не обязательно нужна морская вода; в редких случаях ее может заменить пресная вода "водяных жил в коре".

Кроме базальта вулканы иногда изливают и лавы кислого состава. Следовательно, делает вывод Ю.Лукашевич, в глубине должна существовать и кислая магма. Делается предположение, что под земной корой находится слой кислой магмы, а под ним слой более тяжелой основной магмы. Но такое допущение не может быть принято, потому что: 1 - земная кора плавает на магме и поэтому подстилающая магма должна быть тяжелее коры, т.е. основного состава; 2 - слои кислой и основной магмы не могли бы существовать весьма продолжительное время (миллионы лет) в разделенном состоянии, так как они способны смешиваться в различных пропорциях и перемешались бы; 3 - при вулканических извержениях изливалась бы почти исключительно одна кислая лава. Между тем хорошо известно, что самые обширные излияния произведены основной магмой. Из этого факта необходимо признать, что под земной корой залегает основная магма, а кислая образует отдельные гнезда или ограниченные бассейны.

Возникают такие ограниченные объемы кислой магмы следующим образом. Гнейсы и граниты на земном шаре подстилают все осадочные породы. Их находят в основании осадочных пород не только на всех материках, но гнейсы и граниты залегают в глубине литосферы под океаном. Подтверждение этому видится в выносе лавами острова Св.Елены кусков гранита. При образовании складчатых гор нижняя часть коры под горой ("корень горы") внедряется в магму под тяжестью возникшего на земной поверхности поднятия (рис. 3). Нижняя часть коры постоянно нагрета до температуры, близкой к плавлению пород. "Корень горы", погружен-

ный в магму, подвергается добавочному нагреванию, что вызывает плавление гранита основания коры. Химический же состав гранитов тождественен составу кислой магмы. "Так возникают бассейны кислой магмы, которая, подобно основной, может подниматься по трещинам вверх, давая коровые гнездоизлияния и принимать одинаковое участие в извержениях вулканов с основной лавой, по временам смешиваясь с этой последней в общем русле — общей трещине. Потому один и тот же вулкан может извергать то основную лаву, то кислую, то смешанную, что в действительности и наблюдается..." [40, с. 120].

### 3. Возвращение к ортодоксальному плутонизму

Дальнейшее развитие представлений о происхождении магматических пород, глубинном строении Земли, проявлениях вулканизма связано с именем американского петролога Реджинальда Олдуорта Дейли (1871—1957), который с 1932 года был президентом Американского геологического общества. Его книга "Магматические горные породы и их происхождение" в оригинале вышла в 1914 году. В русском переводе он как автор дан под фамилией Дэли, которая и будет использоваться в нашей работе.

Общие воззрения по происхождению магматических пород Р. О. Дэли начинает с рассмотрения главного источника магматического тепла. Указывается, что "систематическое разрешение этой задачи может быть основано на здоровых космогонических предположениях, и в этом отношении геологии приходится еще ждать последнее слово от астрономии" [22, с. 1]. Развивая эту мысль, далее говорится, что первоначально главнейшим источником тепловой энергии Земли считалась энергия расплавленного земного шара. Основан этот взгляд был на гипотезе Канта—Лапласа, по которой Земля когда-то была расплавленным телом, а затем с поверхности покрылась твердой земной корой, оставаясь все же разогретой внутри.

Сменившая гипотезу Канта—Лапласа планетезимальная гипотеза Чемберлина и Мультона не дает указаний на то, что внешний пояс Земли находился когда-либо в расплавленно-жидком состоянии, а именно с этой частью земного шара, по мнению Р. О. Дэли, тесно связаны все вопросы, интересующие петролога. Более того,

исходя из своей гипотезы, Чемберлин, как указывает Р.О.Дэли, делает вывод, что при образовании нашей планеты земная поверхность была постоянно холодной, и воды океана начали формироваться на ней еще в ту стадию, когда земной шар был значительно меньше нынешнего.

Казалось бы, геологические представления о главенствующей роли магматизма, первичности магматических и вторичности осадочных пород, как вызванные оставленной наукой гипотезой Канта-Лапласа, должны быть отброшены, и основы геологии необходимо закладывать заново, исходя из первично-холодного состояния земной поверхности и первоначального присутствия на ней гидросферы (и атмосферы). Тем более к тому времени уже было известно, что наиболее древними породами земного шара являются гнейсы, от которых через кристаллические сланцы прослеживается связь с аргиллитами - осадочными породами. Тогда же были развиты основы теории геосинклиналей с ее накоплением большой мощности осадочных пород, их метаморфизмом и последующим локальным плавлением [51]. Но все эти фактические данные не были приняты во внимание, а верх взяли гипотетические общетеоретические представления о глубинном источнике вещества и энергии магматического процесса, на долгие годы, включая настоящее время, определившие развитие геологии в вымышленном направлении, закрепляя у геологов дедуктивный способ мышления.

Давление сложившейся по гипотезе Канта-Лапласа геологической догмы не позволило Р.О.Дэли согласиться с первично холодным состоянием нашей планеты. Ссылаясь на положение Чемберлина о достаточно нагретом "зародыше" Земли в раннем ее состоянии (от испытанного сжатия и молекулярных перегруппировок), он приходит к заключению, что планетезимальная гипотеза, как и гипотеза первично огненно-жидкого состояния "не мешает в е - р и т ь (разрядка моя - В.Д.) а) в прежнее расплавленно-жидкое состояние внешнего слоя земли, в) в слоистое строение (по плотности) нашей планеты, с) в достаточно однородный состав поверхностного слоя, а) в наличие магматической температуры, область которой во все геологические периоды существовала лишь немного миль ниже поверхности" [22, с. 7].

Внешняя часть земного шара, по мнению Р.О.Дэли, состоит

из четырех поясов: осадочного, кислого (гранитного), базальтового (постель ниже "коры") и перидотитового. Первые два составляют земную кору. Средняя мощность осадочного слоя принята им менее 0,5 мили. Развита этот слой на поверхности материков прерывисто, материал осадков образовался при разрушении докембрийских гранитов и ортогнейсов, т.е. гнейсов, возникших при метаморфизме магматических пород.

Под осадочными породами на всех материках присутствуют магматические образования - граниты. Они слагают на континентах сплошной гранитный пояс, мощность которого измеряется милями. Обосновав положение о том, что кислый состав пород пояса не может быть объяснен накоплением осадков, возникших при выветривании базальта или анцезита (первичных магматических пород), Р.О.Дэли делает вывод, что гранитный пояс сложен первичным магматическим материалом, который затем полностью был переплавлен и интродуцирован в форме докембрийских батолитов (для большего понимания этого положения необходимо вспомнить, что верхняя оболочка земной коры еще раньше была названа сиалической).

Необходимо, однако, отметить, что ответа на вопрос: откуда взялись действительно наблюдаемые граниты? - так и не получено. Ведь при любом переплавлении химический состав вещества не меняется, и из базальта получить гранит нельзя. Если же говорить о выплавке гранитного состава, то должен оставаться в огромном количестве материал ультраосновного состава, чего в природе не наблюдается. Получается, что реально наблюдаемые химические составы осадочных пород и гранитов противоречат идеи происхождения их из базальта. Значит вещество базальтового состава из-под гранитного слоя не поднимается, ибо в противном случае гранита просто не было бы.

Но Р.О.Дэли поступил иначе. Он весьма своеобразно обосновал наличие под гранитами базальтового пояса. Начинается оно фразой: "под кислым поясом, без сомнения (разрядка моя - В.Д.), располагаются по крайней мере местные скопления магмы, которая по временам прорывается через гранитный пояс и кристаллизуется в виде базальта или химически родственных ему диабаза, габбро и пр." [22, с. 14].

Подкрепляется это следующими соображениями:

1. С химических и геологических позиций невозможно объяснить образование базальтовой магмы путем переплавления обычных осадочных пород.

От себя отметим, что приведенное высказывание ничем не обосновывается. Между тем, если бы Р.О.Дэли был рассмотрен механизм процесса метаморфизма осадочных пород (аргиллитов) в гнейсы, то появились бы химические и геологические позиции о возможности образования базальтовой магмы за счет осадочных пород. В самом деле, из аргиллита (кремнезема 60%, сравнительно много окислов железа, магния и кальция) получается гнейс (кремнезема 70%, меньше окислов железа, магния и кальция). Стало быть, при метаморфизме аргиллита в гнейс отжимается фракция, богатая железом, магнием, кальцием и содержащая кремнезем в количестве 50%. По составу такая фракция отвечает базальту. Гнейсы, гранито-гнейсы и граниты широко развиты в земной коре на глубинах более 5-10 км, следовательно и базальтовой магмы образовывалось много.

2. Крупные базальтовые излияния не могут образоваться путем дифференциации какой-то промежуточной магмы, так как образовавшийся бы при этом кислый продукт должен бы иметь столь же широкое распространение, как и основной.

3. Базальты и большинство других пород габбрового состава любого известного возраста постоянно имеют одинаковый химический состав.

Из этих умоглядных положений Р.О.Дэли высказывает предположение о первичном происхождении базальтовых магм и призывает смотреть на базальты, габбро и диабазы как на первичные земные магмы. Призыв этот был принят большинством геологов его времени и принимается геологами наших дней. Вот и получилось, что петрология и глубинная геология с началом воззрений плутонизма с его первичной базальтовой магмой пыталась и пытается научно объяснить то, чего на самом деле нет. Повторим еще раз: если бы действительно из глубины поднималась первичная базальтовая магма, то химический состав осадочных пород и гранитов был бы другим, отличным от того, какой он есть на самом деле. Неудивительно поэтому, что все после-

дующее изложение плутонических взглядов на вулканизм покажет тщетность попыток выяснения причин вулканических явлений как с позиции объяснения природы вещества продуктов извержений, так и необходимой энергии.

Значительное распределение во времени и в пространстве базальтовых магм объясняется Р.О.Дэли или наличием большого числа подземных базальтовых очагов, или существованием непрерывной базальтовой постели, которая и названа базальтовым поясом. Вследствие взаимодействия между базальтовой постелью, находящейся в расплавленном состоянии, и вышележащими гранитами и осадочными породами происходят все магматические явления.

Исходя из допущения, что средний состав метеоритов отвечает среднему составу земного шара, Р.О.Дэли высказывает предположение о том, что ниже базальтового пояса лежит перидотитовый пояс. Силикатное вещество его имеет приблизительно средний химический состав каменных метеоритов. В образовании магматических пород материал перидотитового пояса никакого участия не принимает. Вот так был сделан первый шаг для последующего выделения верхней мантии ультраосновного состава, принимаемой потом как действительный факт, причем с ней сейчас связывается практически вся магматическая деятельность нашей планеты.

Для объяснения всего разнообразия магматической деятельности Р.О.Дэли предложена гипотеза глубинной инъекции базальтовой магмы. Она основана на следующих предположениях.

1. Сжимающийся земной шар окружен с поверхности тонкой корой, налегающей на неизвестной мощности жидкую базальтовую постель.

2. В земной коре, вследствие сжатия, имеется горизонт без напряжений, залегающий недалеко от поверхности. Выше его находится зона сжатия, а ниже — зона растяжений с формирующимися трещинами.

3. По трещинам в зоне растяжения происходят мощные инъекции жидкой базальтовой магмы (базальтовые клинья).

При прямых прорывах вещества "постели" на дневную поверхность из-под растрескавшейся земной коры изливаются базальтовые покровы. Батолиты же предлагается рассматривать как хи-

мически измененные в верхней своей части глубинные инъекции первичных базальтов в результате реакции с породами твердой земной коры.

Глава XIII рассматриваемой книги посвящена механизму вулканических извержений центрального типа. Первоначально отмечается, что значительная часть вулканологической литературы посвящена деятельности конуса и кратера, а число работ, рассматривающих проблему извержений центрального типа, очень невелико. Им предлагается общая теория вулканической деятельности, базирующаяся на представлении, рассматривающем вулканизм в качестве результата глубинных инъекций первичного базальта. Рассмотрены следующие вопросы, касающиеся извержений центрального типа.

1. Локализация и образование очага.

2. Длительность существования главного очага в течение тысячелетий.

3. Перемежающийся характер извержений, проявляющийся как в смене периодов деятельности и покоя, так и в пульсационном гейзероподобном характере извержений во время активного периода.

4. Происхождение тепла, теряемого в громадных количествах в действующих кратерах благодаря лучеиспусканию.

5. Нормальное развитие очага, проявляющееся во взрывных извержениях и излияниях лавы.

6. Механизм истечения лав из центральных очагов.

Отправным положением для решения перечисленных вопросов является то, что верхняя поверхность жидкого базальтового слоя (базальтовой постели) залегает в среднем на глубине 40 км. Исходя из этого:

1. Поднимаясь с такой глубины на поверхность, магма будет испытывать расширение от 1,5 до 6%. Возникающая при этом энергия будет расходоваться на образование трещин для подъема магмы в самых верхах земной коры.

2. Поднимающаяся магма может химически активно взаимодействовать с боковыми породами, изменяя свой состав. Поверхность будет достигать или первично чистая магма — базальтовая, или более кислая, ассимилировавшая боковые породы.

3. Снижение давления при подъеме магмы с глубин 40 км к поверхности изменит условия равновесия для заключенных в ней газов (в основном ювенильных). Произойдет насыщение и даже пересыщение газами верхней части магматической колонны.

Большое значение в деятельности центральных вулканических очагов – непосредственного ответвления главных глубинных инъекций – Р.О.Дэли отводил выделению свободных ювенильных газов, поднимающихся с большой глубины. Общая схема всего процесса видится следующей. Поднимающаяся магма активно механически воздействует на вышележащие горные породы, вызывает образование трещин. Проникая в эти трещины под большим давлением и при высокой температуре, газы будут расширять их путем медленного плавления пород – "газовое плавление" [22, с. 126]. В расширенное таким образом пространство вступает магма. Процесс "газового плавления" боковых пород захватывает все более высокие участки трещины, пока не достигнет поверхности (рис. 4). Жерло будет оставаться открытым, пока из магмы продолжают выделяться газы.

И хотя выделение газов из магмы приводит к ее охлаждению, экзотермические реакции между газами, а также и соединениями в магме, будут способствовать, совместно с конвекцией, длительному существованию расплава в кратере вулкана. Гипотезой газового плавления Р.О.Дэли объясняет оживление деятельности вулкана после периода покоя – расплавление газами лавовой пробки жерла.

Прежде чем перейти к рассмотрению более поздних взглядов Р.О.Дэли на изложенные проблемы, познакомимся с трудами других ученых, за этот промежуток времени изучавших причины вулканизма.

Немецкий геолог Йоханнес Вальтер (1860–1937) в своей общедоступной книге [6] писал по этому поводу следующее. Немного найдется явлений, относительно которых было бы сделано так много ошибочных представлений и которые бы возбуждали к себе столь сильный интерес, как вулканические явления. Необходимым условием начала извержения вулкана он считал образование в земной коре трещины (пути) до какого-нибудь раскаленного очага. Трещина должна образоваться при землетрясении. Однако им приведены данные о землетрясениях, не сопровождавшихся вулка-

нической деятельностью, и, наоборот, об извержениях вулканов, которым не предшествовали землетрясения. Делается вывод, что землетрясения и извержения вулканов не находятся в обязательной связи.

На позициях ортодоксального вулканизма стоял Д.И.Мушкетов, читавший в конце двадцатых-начале тридцатых годов нашего века курс геологии в Ленинградском горном институте. Под вулканизмом в широком значении этого термина он понимал совокупность всех весьма разнообразных явлений, связанных с поднятием огненно-жидких масс из внутренних частей сокращающейся в своем объеме планеты к ее поверхности. При таком определении вулканизм выступает не только как явление земное, но и мировое, космическое. "Его начальную форму мы видим в вихрях раскаленных газов - протуберанцев солнца, к которым при дальнейшем охлаждении небесного тела начинают присоединяться и огненно-жидкие вещества. В этих обеих стадиях, однако, извержения не приурочены ни к каким определенным местам поверхности и должны происходить беспорядочно, повсеместно и в грандиозном масштабе. Лишь по мере образования и постепенного утолщения внешней твердой оболочки планеты - коры, застывания ее, извержения начинают приурочиваться к отдельным областям, полосам или точкам ее, очевидно слабейшим..." [45, с. 43]. Переход от третьей к современной - четвертой стадии вулканизма определяется все возрастающей трудностью проникновения магмы на поверхность через утолщающуюся земную кору, что вызывает отмирание ряда вулканических областей, локализацию извержений в меньшем количестве мест, уменьшение общего количества поступающих на поверхность изверженных масс с увеличением, однако, силы и катастрофичности отдельных извержений. В конечном итоге при полном остывании планеты или настолько сильным, связанным с такой потерей газов, что мощная твердая оболочка делается неуязвимой для слабейших напоров магмы, вулканизм прекращается.

Основной причиной вулканизма на земном шаре является гидростатическое давление опускающихся частей земной коры на пластичную или жидкую подстилающую магматическую массу, заставляющее последнюю искать выход на поверхность. Непосредственное же извержение вулкана вызывается выделением газов из поднятой магмы.

Говоря о связях вулканизма с тектонизмом, указывается, что ранее плутонисты XIX века придавали вулканизму универсальное значение: поднятиями магмы объясняли землетрясения, медленные колебания суши, образование гор. Д.И.Мушкетов, выступая новатором, подчеркивает, что скорее всего вулканизм представляет собой не причину, а является следствием более общих тектонических процессов, вытекающих из основного процесса уменьшения объема земного шара.

Большой популярностью среди геологов во второй четверти XX века пользовалась книга о вулканах английского геолога Джорджа Уолтера Тиррелла (1883-1961). В русском переводе [63] автор ее указан как Г.В.Тиррель. Поскольку не только фамилия, но и инициалы, указанные в его книге, отличны от настоящих, далее в нашей работе при ссылках на его мнение будут указаны современные его инициалы и фамилия.

Изучение вулканов, по его мнению, имеет большой научный интерес, так как позволяет выяснить природу горных пород, лежащих непосредственно под внешней твердой земной корой, потому что "вулканы имеют сравнительно неглубокое происхождение" [63, с. 8]. Вулкан определяется отверстием в твердой земной коре, сообщающимся с раскаленной внутренней областью, через которое горячие газы, расплавленный материал горных пород (лава) и обломочные продукты поднимаются вверх до земной поверхности. Об этом, в частности, свидетельствует тот факт, что большинство современных вулканов расположены вдоль линий, совпадающих с геологическими сбросами или с большими разломами. По сопровождающим разломы трещинам и происходит поднятие магмы из ее глубоко залегающих источников. Существование цаяк подтверждает этот взгляд.

Главным непосредственным источником энергии, проявляющейся в вулканическом извержении, служат газы. Эти газы Дж.У.Тиррель, вслед за Р.О.Дэли, разделил на магматические, т.е. растворенные в магме и вышедшие из нее, и фреатические - атмосферного или океанического происхождения. Магматические газы (и вообще флюиды) разделены затем на ювенильные, восходящие с первоначальной магмой, и резургентные (воскрешенные), адсорбированные в магму из вмещающих пород.

Концепция взглядов Дж.У.Тиррелла на общий процесс вулка-

низма на земном шаре построена с использованием представлений другого английского геолога - Джона Джоли (1857-1933), первым обратившего внимание на значение радиоактивных элементов для теплового режима Земли, попытавшегося на этой основе объяснить периодичность тектонических процессов.

Если Д.И.Мушкетов только упоминает о связи вулканизма с тектогенезом, то Дж.У.Тиррелль говорит уже о вулканическом цикле, являющимся частью более всеобъемлющего геологического цикла, проявляющегося главным образом в чередовании периодов максимального движения земной коры с периодами относительного спокойствия.

Геологический цикл начинается относительно быстрым поднятием материков, которые делаются широкими и высокими. По их окраинам образуются длинные цепи складчатых гор. Извержения вулканов и землетрясения достигают максимального развития. На континентах происходит площадное оледенение и, в других районах, образование пустынь. Климатические условия суровые и резкие. Океаны же на этой стадии относительно малы и глубоки. В настоящее время, очевидно, Земля вышла из такой фазы геологического цикла. За такой революционной стадией следует продолжительный период относительного спокойствия как тектонических движений, так и вулканической деятельности. Континенты, разрушаясь, постепенно уменьшаются и понижаются, что вызывает наступление мелких морей на окраины материка. Постепенно тектонические движения ограничиваются легкими поднятиями и опусканиями обширных районов, вулканическая деятельность полностью замирает, и климатическое однообразие распространяется на большую часть земного шара. "Но под видимым спокойствием нарастают революционные силы земли, и геологический цикл заканчивается новым пароксизмом горообразования и подъемом континентов" [63, с. 206].

Дж.У.Тиррелль придерживается мнения, что предположение об источниках магматической деятельности, основанное на фактах радиоактивности горных пород, высказанное Д.Джоли и дополненное Артуром Холмсом (1890-1965), первым отметившим роль  $^{40}\text{K}$  в тепловом балансе земной коры и на этом основании доказывавшим, что тектоно-магматические явления связаны с верхней оболочкой Земли толщиной 20-40 км, дает в первом приближении достаточное

основание для объяснения причин вулканизма. Все горные породы содержат радиоактивные вещества. В кислых изверженных породах, например в граните, их содержится больше всего. Основные породы, как габбро и базальт, содержат их около одной трети, а ультраосновные - перидотит - всего одну шестую того количества, которое имеется в граните. Радиоактивные элементы, распадаясь, производят в горных породах тепло, которое накапливается до тех пор, пока породы не расплавятся.

Количество тепла, которое достигает земной поверхности "с термальным градиентом и излучается в пространство, как думают", меньше того количества тепла, которое образуется при радиоактивном распаде в горных породах. Стало быть, горные породы земной коры должны постепенно медленно нагреваться. На самом деле такой нагрев горных пород не наблюдается. Это противоречие заставило геологов предположить возможность периодического освобождения излишков тепла из земной коры.

Из всего вышеизложенного делается вывод, что магмы образуются "вследствие радиотермального плавления материала горных пород нижнего слоя земной коры" [63, с. 212].

Общий ход процесса вулканизма на земном шаре Дж.У.Тирреллю представлялся следующим. Земная кора состоит из двух главных слоев. Наружный слой имеет гранитоидный состав и называется сиалью. Нижний слой, непрерывный и распространенный во всей земной коре, состоит из основных и ультраосновных пород - сима. Сима покоится на субстрате эклогитового и перидотитового состава.

По гипотезе Д.Джоли предполагалось, что геологический цикл начинается с момента перехода слоя сима из твердого состояния в расплавленное за счет радиоактивного тепла. Благодаря радиоактивности базальта, тепло накапливается в базальтовом слое скорее, чем оно может уходить из него вследствие теплопроводности через континенты, дно океанов и воду. За время от 30 до 40 млн. лет накопившегося тепла будет достаточно, чтобы полностью расплавить базальт под континентами и океанами. Наступает нарушение в равновесии состояния земной коры. Расплавляясь, базальтовый слой будет расширяться, поднимая и растягивая лежащую над ним земную кору как континентов, так и дно

океанов (базальт дна океанов не расплавляется, а плавится на некоторой глубине). По образовавшимся трещинам базальтовая магма начнет вырваться на земную поверхность. Произойдут обширные массовые излияния базальтов. Завершение геологического цикла видится в следующем. Под влиянием притяжения Солнца и Луны твердая кора начинает медленно смещаться к западу, и перегретый базальт из-под материков попадает под холодное дно океанов, где избыток тепла быстро выделяется в океаны. А. Холмс расширил гипотезу Д. Джоли, введя в схему действия радиоактивность перидотитовой оболочки, конвективную циркуляцию материала ее вещества.

Теперь, когда, как мы увидели, в науке узаконилось представление о двуслойном строении земной коры, сложенной главным образом магматическими породами, рассмотрим кратко историю вопроса об определении среднего состава земной коры, потому что без этого трудно будет понять дальнейшие взгляды на причины вулканизма. Средний породный состав земной коры подсчитан американскими геохимиками Франком Уиглсуортом Кларком (1847-1931) и Генри Стивенсом Вашингтоном (1867-1934), причем, большие заслуги в решении этого вопроса принадлежат первому из них, бывшему в 1883-1924 годах главным геохимиком Геологического комитета США. По предложению А. Е. Ферсмана (1883-1945), числа, характеризующие среднее содержание химических элементов в земной коре, в честь Ф. У. Кларка, были названы кларками.

Начинается их обзорная работа [76] пояснением происхождения термина "земная кора", являющегося наследием тех времен, когда внутренняя часть нашей планеты представляла собой "море расплавленных пород", покрытое сверху относительно тонкой твердой корой остывшего материала. Не рассматривая глубинную часть земного шара, они сосредоточили свое внимание на наружной оболочке - коре, "которая является только частью земли, непосредственно доступной нашему изучению и которая может быть представлена, с некоторыми допущениями, сложенной как бы шлаком глубинного материала...".

Мощность земной коры не известна и, вероятно, неопределенна. Для вычисления состава ее мы можем принять приблизительную мощность 10 миль, как сумму от максимальной высоты на суше и наибольшей глубины океана" [76, с. 2].

Твердая кора, по их мнению, почти целиком состоит из изверженных пород, которые затвердели из жидкого расплавленного состояния. Принимая мощность земной коры 16 км (10 миль), породный состав ее ими определяется следующим:

1. Изверженные (igneous rock - огненного, вулканического происхождения) породы - 95,0%.
2. Глинистые сланцы, сланцеватая глина, аргиллит (shales) - 4,0%.
3. Песчаники - 0,75%.
4. Известняки - 0,25%.

Прокомментируем эти цифры. Прежде всего необходимо отметить, что гнейсы и кристаллические сланцы, которыми в основном сложены фундаменты платформ и основания складчатых областей (бывших геосинклиналей), вошли в состав изверженных пород. Присутствие метаморфических пород в земной коре отрицается. Сложена она на 95% изверженными (первичными) породами и на 5% осадочными. Об этом же говорится в геологических учебниках нашего времени. "Магматические породы составляют 95% от общей массы пород, слагающих земную кору. На осадочные и метаморфические остается всего 5%" [14, с. 465]. В учебном пособии по геохимии студентам геологических специальностей вузов сказано так: "Кларк и Вашингтон считали, что верхний 16-километровый слой земной коры состоит на 95% из пород изверженных, 4% - метаморфических и 1% - осадочных" [10, с. 138]. Представляется, что авторы учебников не совсем точно перевели shales, считая их только глинистыми сланцами. Скорее всего Ф.У.Кларк и Г.С. Вашингтон понимали под этим термином также аргиллит или сланцеватую глину, в противном случае из осадочных пород выпадает наиболее распространенная группа пелитов, чего эти ученые допустить не могли.

Поскольку земная кора в основном состоит из изверженных пород, то для определения среднего химического состава ее необходимо знать количественное представительство в ней различных типов изверженных пород. Несмотря на сложность и неоднозначность такого выяснения, они пришли к выводу, что состав смеси из 65% обычного гранита и 35% обычного базальта будет соответствовать среднему составу земной коры. Они, между про-

чим, в подтверждение достоварности своих подсчетов ссылаются на Ф.Ю.Левинсона-Лессинга (1861-1939), считавшего, что земная кора образована двумя первичными магмами - гранитной и габбровой.

Эти цифры с небольшими изменениями приняты и сейчас для характеристики среднего состава земной коры, состоящей из гранитного и базальтового слоев на континентах общей мощностью 40-70 км, причем мощность 16 км соответствует только гранитному слою, и базальтового слоя мощностью до 13-15 км под океанами. А.П.Виноградов [9], например, считал, что земная кора вероятнее всего представляет смесь кислых и основных магматических пород в пропорции 2:1, хотя соотношение мощностей гранитного и базальтового слоев на континентах обратное - 1:2, а под океанами гранитный слой вообще отсутствует. "А.Полдерварт (1955) допускал, что 40,8% земной коры составляет гранодиорит, 10,3% - диорит и андезит и 48,9% - базальт и толеит" [10, с. 135].

И снова мы видим полное игнорирование участия в земной коре метаморфических да и осадочных пород, т.е. искусственность всех подсчетов среднего химического состава земной коры. Реальное же выяснение кларков способствовало бы успешному проведению геохимических поисков месторождений полезных ископаемых путем сравнения общеземных кларков с региональными для данного района, участка, тела. Помогло бы это и выяснению действительной продолжительности истории развития земной коры и земного шара в целом. Нам понятно, почему так происходит: земная кора все еще считается шлаком первоначального расплава и потому сложенной исключительно магматическими породами.

Почти через 20 лет после выхода первой, уже нами рассмотренной, книги по петрогенезису, Р.О.Дэли опубликовал вторую книгу [23] - оригинал издан в 1933 году. Написана она была не столько для защиты его абстрактной схемы, изложенной в предыдущей книге [22], сколько для утверждения той мысли, что "петрология достигнет наибольших успехов путем систематического изучения всех гипотез, касающихся внутренних частей земли" [23, с. 9]. Потребность в этом возникла из-за того, что "некоторые авторитеты считают, вследствие малого количества данных о про-

исхождении нашей планеты, что генезис гранита, андезита, сие- нита, базальта и других распространенных разновидностей извер- женных пород следует рассматривать без систематической связи с глубинами земли. Однако каждый петролог более или менее бес- сознательно основывает свои рассуждения на гипотезах относи- тельно подкоровых материалов, их распространении и деятельно- сти" [23, с. 8]. Последняя фраза точно характеризует состояние петрологии и в настоящее время с той лишь разницей, что Р.О. Дэли под подкоровыми материалами подразумевал базальтовый по- яс, а современные петрологи - верхнюю мантию ультраосновного состава.

Между тем, такой дедуктивный подход к решению проблемы в любой естественной науке недопустим, на что еще в конце ХУІ века указывал Ф.Бэкон (1561-1626). Так как задачей естес- твенных наук, в том числе и геологии, является выяснение за- конов природы, что возможно только при индуктивном способе познания, то сначала нужно изучить горные породы, их состав, распространение, взаимопереходы их друг в друга, после чего делать вывод о внутреннем строении Земли и ее происхождении. Основы современной глубинной геологии, таким образом, дедук- тивны. Какие же можно установить геологические законы, если заранее умозрительно принять основные положения по происхож- дению и строению земного шара, на основе которых говорить о представительстве разных типов горных пород в земной коре, не замечая действительного взаимоотношения осадочных, метаморфи- ческих и магматических пород. Успехи же физики, химии, биоло- гии стали возможны именно с переходом ученых этих наук от де- дуктивного на индуктивный способ мышления.

За прошедшие 20 лет, промежутка времени между выходами первой и второй книгами Р.О.Дэли, развитие геофизики, глав- ным образом сейсмологии, однозначно показало отсутствие под земной корой пояса расплавленного материала. Не считаться с этим Р.О.Дэли не мог, поэтому вместо прежней расплавленной "базальтовой постели" он под земной корой поместил твердый базальтовый пояс.

Средняя мощность осадочной покрывки, несогласно залегаю- щей на архейских кристаллических породах континентов, стала

оцениваться едва ли много более 2 км (ранее была 0,5 км), что, если принять мощность коры в 16 км, принятую для подсчета ее среднего химического состава, составит более 12% объема этой части коры. Цифра достаточно большая, чтобы ею пренебрегать. Сейчас мы знаем, что и эта цифра значительно занижена.

Под этой тонкой прерывистой толщей постархейских осадочных отложений находится сиаль - фундаментальный комплекс, более существенная часть каждого континента. Главная масса сиала по крайней мере толщиной 10 км имеет состав близкий граниту. Глубже 10 км средний состав сиала, на котором отразилась древняя магматическая дифференциация первичного базальтового расплава и сказался метаморфизм нагрузки, близок гранодиориту.

С архейской эпохи в сиаль происходит внедрение снизу базальтового расплава, который теперь представлен закристаллизовавшимися габбро, диабазом, базальтом и др. Здесь Р.О.Дэли говорит о том, что ранее Б.Котта, О.В.Грин и он сам указывали на существование под корой непрерывного базальтового пояса, подразумевая жидкое его состояние. Однако прохождение сейсмических волн в области базальтового пояса свидетельствует о его большой вязкости и высокой, не меньшей чем гранита, жесткости. "Поэтому нельзя верить в жидкое "море магмы", охватывающее весь земной шар" [23, с. 193].

Рассматриваются четыре возможности.

1. Находящийся под сиалем слой полнокристаллический с относительно умеренной температурой. При этом автоматически учитывается вязкость и жесткость вещества слоя. Но она (возможность) не объясняет ни извержений базальта, "ни доказанной слабости материалов на глубинах немного более 60 км".

2. Находящийся под сиалем слой полнокристаллический, но в течение определенных отрезков времени (согласно гипотезе Д.Джоли о термальных циклах) он повсеместно переходит в расплавленное состояние и становится жидким до некоторой глубины. Против такого взгляда приводятся геологические и физические возражения.

3. В находящемся под сиалем полнокристаллическом слое базальта местами происходило локальное расплавление, обусловленное или дифференциальной радиоактивностью или уменьшением

давления в ограниченном подкоровом районе. Возражения: однородность и масштабность базальтов океанов, свидетельствующие о полном переплавлении, противоречат локальному расплавлению. "Местное уменьшение давления является совершенно несоразмерным и не нуждается в дальнейшем рассмотрении".

4. "Оставшаяся возможность является предпочитаемой. Предполагается, что непосредственно под сиалем нормальной континентальной мощности имеется слой закристаллизованного материала, который по своему химическому составу сходен с платобазальтами. Предполагается, что этот слой лежит на слое аморфного базальта, который со времени нижнего докембрия имел слишком высокую температуру, чтобы перейти в кристаллическое состояние. Ради удобства, этот слой стекловидного базальта будем называть субстратом. Этот субстрат и находящийся непосредственно над ним кристаллический слой (преимущественно пьезо-габбро), взятые вместе, будем называть базальтовым поясом земли" [23, с. 194].

Введение понятия стекловатого базальтового субстрата на умеренной глубине вокруг земного шара дает автоматическое определение понятию "земная кора". Она представляет собой сплошной твердый кристаллический пояс, покоящийся на сплошном некристаллическом поясе, имеющем однако жесткость, превосходящую жесткость гранита. "Тем не менее, подобно "лавовому океану" старых вулканологов, субстрат удерживает скрытую теплоту - добавочное преимущество для предположения, что он представляет источник изверженной деятельности, начиная с нижнедокембрийской эпохи" [23, с. 218].

Возрастающая точность сейсмологических исследований позволила австрийскому геофизику В.Конраду (1876-1962) выделить в земной коре материков поверхность, при переходе через которую скорости сейсмических волн скачкообразно увеличиваются с 6 до 6,5 км/с, которая потом была названа его именем. В вышележащем слое, состав которого петрологами определялся как сиаль или гранитный, скорость сейсмических волн составляла 5,0-6,0 км/с. Именно с такой скоростью сейсмические волны по экспериментальным исследованиям распространяются в граните. Такое совпадение петрологических и геофизических данных позво-

лило выделить в верхней части земной коры материков гранитный слой.

Ниже границы Конрада скорость сейсмических волн в земной коре определялась в пределах 6,5-7,5 км/с. По петрологическим данным здесь должен был быть базальтовый пояс Р.О.Дэли. А так как именно в базальте по опытным данным сейсмические волны распространяются со скоростью 6,5-7,5 км/с, то такое полное совпадение предположений петрологов и данных геофизиков дало основание для выделения базальтового слоя земной коры.

И здесь мне хочется рассказать читателям о том чувстве неловкости, которое испытываю как преподаватель, когда студенты после изучения магматических пород, уяснив при этом, что базальт является эффузивной, излившейся, а гранит интрузивной, глубинной породой, задают мне вопрос: как может базальтовый слой, состоящий из породы, сформировавшейся на поверхности, залегать под гранитным слоем, если гранит обязательно образуется на глубине? Ответ типа, что так называли раньше, а теперь названия этих понятий нужно ставить в кавычки или употреблять со словами "так называемый", их не устраивает. Возражения студентов удивительно однотипны: зачем геологам вообще нужно было называть так слои, если это противоречит элементарным основам петрологии? Кроме того, всем известно, что на глубинах от 20 до 70 км, где и выделяют на материках базальтовый слой, базальт как неполнокристаллическая порода, а стало быть содержащая вулканическое стекло, существовать просто не может.

У читателя может возникнуть вопрос: какой же ответ автор дает на вопрос студентов? Пожалуйста! Слои так названы, исходя из предположения, согласно гипотезы Канта-Лапласа, о первоначально огненно-жидком состоянии земного шара. При остывании его вверх всплыли самые легкие шлаки - сиаль (гранитный слой), ниже скопилась выплавка более тугоплавкая, богатая железом, магнием - сима (базальтовый слой). В связи с отказом науки от гипотезы Канта-Лапласа выделение таких слоев теряет всякий смысл. В настоящее время это чисто геофизические понятия, не отражающие вещественного состава и названия им должно быть другое. Скорости же сейсмических волн фиксируют, видимо, раз-

личную плотность вещества литосферы, увеличивающуюся с глубиной.

Но когда слои в земной коре были только выделены, состав базальтового слоя считался базальтовым, что впрочем общепринято и сейчас. Нижней границей земной коры была определена поверхность Мохоровичича, названная в честь югославского сейсмолога А. Мохоровичича (1857-1936), при прохождении которой сверху вниз сейсмические волны скачком увеличивают скорость с 6,7-7,6 до 7,9-8,2 км/с. Еще ранее (см. с. 72), исходя из допущения о соответствии среднего состава метеоритов среднему составу земной коры, Р. О. Дэли высказал предположение о том, что ниже базальтового пояса должен лежать перидотитовый пояс. Это предположение уже как факт было принято многими геологами. Затем оказалось, что по опытным данным скорость прохождения сейсмических волн в перидотите равна 8,2-8,5 км/с, т.е. такая же, как и в подстилающем земную кору веществе. Была выделена верхняя мантия перидотитового состава.

После того, как было установлено, что расплавленной базальтовой оболочки в глубинах Земли нет и, стало быть, объяснить вулканизм поднятием готовой базальтовой магмы нельзя, магму стали получать из твердого базальтового слоя. Предполагалось, что вещество базальтового слоя высоконагрето и было бы расплавленным при имеющейся температуре в его недрах, если бы не большое давление, которое препятствует плавлению. Если же в базальтовом слое возникнет трещина, например в результате землетрясения, то в районе этой трещины произойдет сброс давления, высоконагретое вещество расплавится и по той же трещине (ослабленной зоне) начнет двигаться вверх. Подобная схема начала вулканического процесса показывается и сейчас в учебных и научно-популярных кинофильмах. Но вся ирония судьбы для современных вулканистов заключается в том, что таким способом из базальтового слоя магмы базальтового состава получить нельзя. Это было доказано еще в конце 20-х годов нашего столетия американским петрологом Норманом Леви Боуэном (1887-1956).

Для того, чтобы получить значительное количество расплава из твердого базальтового пояса, указывает Н. Л. Боуэн, необходимо снижение давления не в какой-то узкой линейной зоне, а на

значительной площади, и не просто снижение, а быстрый сброс давления. "Например, уменьшение давления, соответствующее толще в 25 км горных пород, способно вызывать плавление лишь 40% базальтовой массы. Полученный при этом расплав будет не базальтового состава, а кислого" [5, с. 309]. При сбросе давления мгновенного полного расплавления произойти не может, а будет происходить выплавление. Первые же порции выплавки всегда кислее субстрата, из которого они образуются.

Выход из создавшегося кризисного положения тем же Н.Л. Боуэном был предложен следующий. Сначала отмечается, что на глубинах 37-60 км, согласно сейсмическим данным, земной шар сложен материалом перидотитового состава. Поэтому делается вывод, что "имеется только один источник базальтовой магмы, который кажется наиболее правдоподобным, согласно учению о непрерывном остывании земли, это - перидотитовый пояс, из которого базальтовая магма образуется путем селективного плавления" [5, с. 309].

Эта точка зрения на происхождение базальтовых магм получила широкое признание геологов. Когда же были изучены ксенолиты в базальтах, состав многих из которых оказался ультраосновным, то представление об ультраосновном составе верхней мантии и что из ее вещества выплавляется базальтовая магма, обрело еще больше сторонников. Практически так думают сейчас все геологи, за немногим исключением [21]. При этом геологи-плутонисты как-то незаметно отказались от всякой петрологической роли базальтового слоя (он оказался просто не нужным, а ведь с него и начался плутонизм) и не заметили, что чем глубже опускать источник выплавки базальтовой магмы, тем толще нужно убирать покрывку горных пород для снятия давления.

Вот как об этом сказано Г.С. Горшковым при характеристике вулканизма Курильской островной дуги. "Как прямые геофизические данные, так и петрохимический анализ показывают, что всюду, за очень редкими исключениями, вулканизм выступает как "сквозькоровый" процесс. Таким образом, как источники питания вулканов, так и причины их разнообразия лежат за пределами земной коры, а именно - в верхней мантии" [15, с. 269]. Как же это доказывается для района Курильских островов?

Состав продуктов извержений современных вулканов по всей Курильской дуге довольно выдержанный, отвечая андезито-базальту. Строение же земной коры под южными, центральными и северными островами различное, поэтому состав вулканических продуктов и не зависит от строения земной коры. Стало быть, действительно, питание курильских вулканов происходит за счет материала верхней мантии. Такой вывод, однако, будет правомерен только в том случае, если при различном строении земной коры основные физические характеристики вещества верхней мантии под Курильскими островами будут одинаковые. В противном случае состав продуктов вулканизма современных курильских вулканов не будет зависеть от строения ни земной коры, ни верхней мантии. Оказывается, что физические свойства вещества верхней мантии под южными, центральными и северными островами Курильской дуги различны [37] - ссылка на этого автора имеется в книге Г.С.Горшкова.

Автору уже самому неудобно за многочисленные указания на непоследовательность или поспешность в решении геологами-плутонистами вопроса о причинах образования базальтовой магмы. Единственным оправданием этому служит то, что делает это он не по собственной воле. Вот и теперь предстоит заняться тем же самым.

Не успели мы выяснить, что базальтовую магму можно получить за счет селективного плавления перидотита верхней мантии, как узнаем, что ничего из этого не получится. Оказывается, что в большинстве случаев перидотиты, изученные в ксенолитах и интрузивных телах коры, характеризуются слишком низкой распространенностью "несовместимых элементов" (калия, урана, бария, рубидия и др.), чтобы при частичном плавлении таких перидотитов получился наблюдаемый состав базальтовых магм [54]. Кроме того, большая часть перидотитов не содержит в достаточном для базальтовых магм натрия, кальция и алюминия. Распространенность элементов в перидотитах соответствует тугоплавким остаткам после отделения базальтовых магм.

"Таким образом, мы приходим к представлению, что большая часть перидотитов дополнительна, комплементарна по отношению к базальтовым магмам, а не представляет первичное для них ве-

щество. Значит, должен существовать под слоем перидотита слой, имеющий примитивный, первичный состав, из которого еще не выделились базальтовые магмы. Этот первичный материал должен быть источником современных базальтов. Для удобства этот первичный материал назвали "пиролитом", под которым подразумевается некоторая пироксен-оливиновая порода, способная при частичном плавлении образовать базальтовую магму" [54, с. 14-15]. Чтобы образовались, например, толеитовые базальты, из пиролита должно выплавиться 15-25% легкоплавкого вещества. Верхняя допустимая граница предполагаемого пиролитового пояса под материками находится от 100 до 200 км.

Стало быть, перидотитовый слой, как и ранее базальтовый, оказался ненужным в петрологическом отношении как источник первичной магмы. Следовательно, проверка посылок дедуктивных построений глубинной геологии фактическим материалом не подтвердилась. Конечно, намерения плутонистов в разрешении проблемы базальтовой магмы были искренними, но развивать науку вопреки законам логики невозможно.

Считаем необходимым высказать по поводу гипотезы пиролита некоторые замечания.

I. Почему в ксенолитах базальтов не встречены пиролиты, если базальтовые магмы образуются за счет плавления вещества пиролита? На этот вопрос можно ответить так: ксенолитов пиролита в базальтах и быть не должно, потому что при образовании базальтового расплава пиролит перестает существовать. Но ведь есть пиролит вокруг и при подъеме базальтового расплава в него могут попасть обломки пиролита, которые уже изменяться не будут. В любом случае базальтовая магма может захватить то, что осталось от пиролита при выплавлении из него базальта. По данным А.Е.Рингвуда, комплементарным тугоплавким перидотитовым компонентом при выплавке из пиролита толеитовой магмы будет гарцбургит (оливин+ортопироксен).

Рассмотрим состав ксенолитов в андезито-базальтах и базальтах современных курильских вулканов. Б.Н.Пискуновым [53, рис. 33] эти базальты отнесены к толеитовому типу высокоглиноземистой серии.

Перечислим названия ксенолитов, которые встречены в эф-

фузивах и туфах современных курильских вулканов [68] : оливин-анортитовые породы, оливин-пироксен-плагиоклазовые породы, плагиоклазосоержащие пироксеновые породы, эгирин-авгитовые породы, пироксен-плагиоклазовые кристаллические сланцы, амфиболиты, горнблендиты, серпентиниты, габбро, пироксеносодержащие анортозиты, роговообманковые диориты, плагиограниты, гранатосодержащие эгиринавгитовые гранито-гнейсы, сланцы, окварцованные породы и кварциты, роговики. Как видим, гарцбургитов нет, а есть широкий спектр других пород.

2. Загрязнение базальтов столь разнообразными породами свидетельствует о том, что, захватывая их при своем движении, базальтовая магма часть ксенолитов, а вероятно, и самих вмещающих пород, их поставлявших, ассимилировала. Состав магмы при этом изменялся, делаясь более кислым. Стало быть, при гипотетической выплавке из пиролита выплавлялись базальты не того химического состава, которые поднялись на поверхность, а более основные. Источник базальтовой магмы в таком случае, согласно логики рассуждений плутонистов, нужно искать ниже пиролитового слоя.

3. Чем глубже опускается источник выплавки базальта, тем нереальнее делается сама возможность такой выплавки. Ранее уже указывалось, что по мнению Н.Л.Боуэна [5] для выплавки базальта из перидотита на глубине до 70 км необходимо резко уменьшить давление, эквивалентное мгновенному снятию толщи горных пород мощностью 25 км. Чтобы допустить возможность выплавки базальтового расплава из пиролита на глубинах 100 км и более, нужно убрать на большой площади покрывку из горных пород мощностью не менее 50 км. Это уже фантастично! Никакие образовавшиеся трещины помочь здесь не могут, потому что давление вызывается нагрузкой вышележащих горных пород, а разницы в том, будет ли на пиролит давить одна глыба или две глыбы, разделенные тонкой трещиной, никакой нет.

Итак, мы можем сделать вывод, что разрабатываемая плутонистами модель вулканического процесса зашла в тупик. Она оказалась тупиковой ветвью эволюции вулканологической мысли. Хорошо это видно из книги Л.К.Грейтона, рассмотревшего предположения о вулканическом тепле. Этот автор преследовал цель дать

надлежащую оценку двум факторам вулканизма: теплу и магматическим газам. Из них тепло, являющееся источником энергии или самой сущностью вулканического процесса, рассматривается как фактор первостепенного значения. Что касается газов, то, на взгляд Л.К.Грейтона, хотя они и являются наиболее активными и разнообразно действующими агентами вулканического процесса, им приписывается обычно мистическая и преувеличенная роль.

Введение книги начинается словами: "При современных более широких и глубоких взглядах мы, вероятно, не нуждаемся в свидетельстве вулканов для поддержаний нашей веры в звездных предков нашей планеты, в причину образования ее формы, близкой к сферической, в закономерное гравитационное расслоение ее внутренних частей и в изверженную природу ее первичных пород со всеми следствиями, которые накладываются этим на общепринятые идеи петрогенезиса, глубинного метаморфизма и структурной геологии" [16, с. 9].

Странная получается вещь. Исходя из представлений, что вулканы выносят из глубин нашей планеты первично расплавленный материал, было предложено глубинное строение земного шара с оболочками различного химического состава. Данные геофизики интерпретировались с этих позиций. Из нескольких моделей глубинного строения Земли (не во всех из них выделялись зоны пониженных скоростей в мантии) геологами была взята та, которая соответствовала их сложившимся представлениям. Все основные положения геологии сформировались из взгляда-веры на нашу планету как бывшую звезду (раскаленный огненно-жидкий шар). И вот теперь вулканы, как сделавшие свое дело, не нужны, а все геологические построения, выполненные с их помощью, остаются.

С позиции физических законов Л.К.Грейтоном рассмотрена роль газов в вулканическом процессе. В отличие от ранее принимавшейся главенствующей роли их в подъеме расплава из глубин к земной поверхности, им установлено, что по мере поднятия магмы находящийся в ней газ в результате снижения давления постоянно охлаждается сам и охлаждает магматический расплав. Делается вывод, что газ - это только очень деятельный посредник в вулканическом процессе, главная роль которого - служить средой, при помощи которой тепловая энергия превращается в меха-

ническую: "Причиной вулканической деятельности газ является не больше, чем электромотор является источником электрической энергии, которая через него протекает, и той механической энергии, в которую она потом переходит" [16, с. 52].

Как источники тепла для вулканической деятельности рассмотрены радиоактивность, экзотермические химические реакции и "внутреннее" тепло нашей планеты.

Тепло радиоактивного распада не оправдало тех надежд в объяснении источника энергии вулканизма, которое первоначально (высказано Деттоном в 1906 году) на него возлагали. Разочарование ученых от этого было такое, "как если бы вдруг авиация или радиосвязь после короткого срока пылких надежд оказались не имеющими практического значения" [16, с. 63]. Помимо расчетов по радиоактивности горных пород различных типов об отсутствии какой-либо существенной роли локального радиоактивного нагревания в проявлениях вулканизма свидетельствует незначительное присутствие в составе вулканических газов гелия. Указывается, что районы наиболее обильного нахождения гелия не совпадают с районами проявлений вулканизма. В районах концентрации гелия он связан с углеводородами. Кроме того, вулканы извергают главным образом расплавы основного состава, а радиоактивность кислых магматических пород значительно выше основных.

Только вскользь рассмотрены возможности экзотермических химических реакций на примере газовых реакций. И хотя некоторые положения теории химических реакций как причины вулканического тепла остаются в силе до сих пор, в целом этот механизм доверия у Л.К.Грейтона не заслуживает.

Для объяснения причин вулканизма, по мнению Л.К.Грейтона, остается одна идея: магма поднимается благодаря общему давлению, производимому на нее снизу и выносит тепло из запасов, хранящихся на глубине. Такая идея предполагает существование очага "внутреннего" тепла. Ранее такой источник тепла обозначался как "первоначальная теплота земли". Наличие радиоактивности веществ земного шара и ряд других положений заставлял, как считает Л.К.Грейтон, "не слишком уточнять представление о происхождении тепла, источник которого, как все думают, су-

ществует на глубине" [16, с. 92].

С позиции глубинного источника тепла количественно оценивается распространенная гипотеза происхождения вулканов. По этой гипотезе предполагается, что вещество на глубине, несмотря на высокую температуру, вследствие большого давления над ним, находится в твердом, а не в расплавленном состоянии. При понижении давления оно расплавляется и начинает течь к трещинам, складкам и другим нарушениям. Тем самым эта гипотеза удовлетворяет трем основным положениям: 1) наличие высоконагретого материала в глубине Земли, находящегося в твердом состоянии - требование геофизики; 2) понижение температуры плавления кристаллических веществ при понижении давления; 3) приуроченности районов активного вулканизма к сейсмическим зонам земного шара.

Однако, вслед за Н.Л.Боуэном [5] Л.К.Грейтон показал не-реальность такого механизма поднятия магмы. Расчеты Л.К.Грейтона засвидетельствовали, что для выплавки базальта из глубинного вещества необходимо снятие нагрузки порядка 70 км вышележащих горных пород. Конечно, такого быстрого сноса мощных толщ отложений на Земле не происходит. Чтобы исключить возражения типа - нагрузка горных пород остается, а сброс давления происходит вдоль образовавшейся трещины, им рассмотрен и этот случай. Указывается, что давление, оказываемое на вещество потенциальной магмы, происходит прежде всего от веса нагрузки перекрывающих его горных пород. Вес вышележащих толщ "существенно не изменится от того, состоит ли нагрузка из двух глыб, разделенных трещиной, или из одной неразбитой глыбы" [16, с. 96]. Предполагаемого поэтому плавления вещества на глубинах десятков-сотен километров от появления трещин произойти не может. Кроме того, добавим от себя, трещины на таких глубинах вообще не могут возникать.

Исчерпав все возможности объяснения причин вулканизма, Л.К.Грейтон в заключение сделал, по нашему мнению, крайне метафизический вывод: "По-видимому, необходимо заключить, что вулканический канал доходит до низа, и там в него поступает материал уже в надлежащем подвижном состоянии. Температура такого материала должна быть достаточной для поддержания это-

го качества как жидкости на протяжении всего пути к поверхности, несмотря на потери температуры и другие неблагоприятные факторы, встречающиеся при подъеме" [16, с. 96]. Получается, с чего начали ортодоксальные вулканисты, к тому пришел и Л.К.Грейтон. Круг замкнулся!

Более конкретно об этом высказался известный вулканолог А.Ритман: "...невозможно в какой-то степени удовлетворительно объяснить вулканизм, указывающий на существование газосодержащей магмы на не слишком большой глубине. Поэтому все гипотезы, принимавшие за исходный материал для построения Земли холодную дисперсную материю, должны быть отклонены" [55, с. 390].

Но, чтобы выйти из того заколцованного круга, в который попали вулканисты, объясняя вулканизм поднятием из глубин уже готовой первичной магмы, поступить следует как раз наоборот. Необходимо признать, что механизм вулканического процесса объяснить они не могут, а стало быть исходные постулаты их предположений неверны. Нет первичного внутреннего тепла Земли как и высокой температуры ее недр, вещество земного шара не дифференцировано по химическому составу на оболочки, нет гранитного (сиалического) и базальтового (симатического) слоев земной коры (как и ее самой) и ультраосновной верхней мантии, а есть (на современном уровне сейсмологических данных) геофизические слои, выделяющиеся по скорости прохождения сейсмических волн, вещественный состав которых, как это печально, нам не известен. Состав и состояние магмы в момент ее зарождения (может это сначала вообще не магма в нашем понимании) значительно отличаются от того состава и состояния, какие она имеет при выходе на земную поверхность. Магма даже не является, как это общепринято, расплавом, т.е. чистым химическим веществом в расплавленном состоянии, а представляет собой высокотемпературный раствор, содержащий газы. По мере поднятия магма разогревается и обогащается летучими, иначе от прогрессирующей потери газов она быстро бы остыла и стала вязкой.

Следует признать весьма интересной инициативу, с которой выступил Х.Раст в своей книге "Вулканы и вулканизм", информируя читателей об источниках энергии всех геологических процес-

сов, протекающих на земном шаре. Он их сводит к двум "двигателям". 1) Теплу внутренних частей Земли, которое приводит в движение литосферные плиты и порождает в связи с этим такие проявления эндогенных сил, как вулканизм, землетрясения и горообразование. 2) Тепловому потоку, постоянно идущему от Солнца. Достигая Земли, он вызывает движение атмосферы и гидросферы и тем самым опосредственно такие экзогенные процессы, как выветривание, перемещение продуктов выветривания, литогенез. Стоило только заговорить о всех геологических процессах, как сразу стала ясна ничтожная доля в них, отводящаяся вулканизму. "Удивительно, что для такого впечатляющего явления, как вулканизм, необходима лишь относительно малая часть ежегодной потери земного тепла. За последние 500 миллионов лет затраты на вулканизм составили лишь около 3% от общих потерь тепла земного шара." [79, с. 25].

Вулканологами часто говорится о грандиозности масштабов энергии вулканических извержений, но при этом не приводится сравнений с энергиями явлений достоверно экзогенной природы. Между тем, тепловая энергия Большого трещинного Толбачинского извержения, продолжавшегося 450 дней, составила  $1,3 \times 10^{18}$  дж [12]. Однако такой же энергией, и даже на порядок больше, характеризуется достаточно мощный тайфун, достигающий Камчатки из экваториальной части Тихого океана. За год таких тайфунов в Тихом океане зарождается не один десяток, многие из которых проходят над Камчаткой.

#### 4. Представления о причинах вулканизма с позиции тектоники плит

Начавшееся геологическое изучение океанов первоначально производилось практически одними косвенными (геофизическими) методами. Полученные геофизические материалы интерпретировались исходя из сложившегося представления о глубинном строении земного шара: под океанами земная кора состоит из базальтового (сложенного базальтом) слоя, покрытого сверху маломощными осадками, а верхняя мантия ультраосновная (перидотит, затем и пиrolит).

Геофизики по результатам интерпретации материалов своих исследований предложили новое объяснение геологическому раз-

виту океанов — новую глобальную тектонику или тектонику плит. Как пишет Д.П.Рэдулеску, одно из главных достижений этой концепции "состоит в признании вулканизма как геологического явления, участвующего в преобразовании оболочек Земли" [59, с. 9].

Тектонике плит посвящена такая громадная, хотя и не всегда однозначная литература, что просто перечислить все взгляды на вулканологические следствия этой гипотезы не представляется возможным. Поэтому приведем самые общие сведения о причинах вулканизма, исходя из тектоники плит, по материалам одних из основателей ее [36]. Как пишут редакторы русского перевода, это единственная книга, содержащая полное и строго научное изложение предмета тектоники плит. Вопрос же вулканизма островных дуг с позиции этой гипотезы рассмотрим несколько подробнее.

Выделяются процессы на конструктивных и деструктивных границах плит.

Конструктивные границы определены как линии относительного движения, по которым происходит симметричное формирование поверхности плит. Им соответствуют рифты срединно-океанических хребтов. Принимая пиролитовый состав астеносферы (одна часть базальта на три части перидотита), проявление вулканизма срединно-океанических хребтов объясняется частичным плавлением вещества астеносферы и происходящей в результате этого двухфазной проникающей конвекции. Допускается, что скорость подъема вещества равна скорости движения плиты в горизонтальном направлении от границы. Образовавшиеся расплавы постепенно поднимаются через систему трещин в направлении дна океана, где изливаются в виде толеитового базальта. Отметим, что на невозможность такого процесса указывали еще Н.Л.Боуэн [5] и Л.К.Грейтон [16].

Деструктивные границы определены как линии относительного движения, на которых происходит асимметричное разрушение поверхности при нацвигании одной плиты на другую. Поверхностным выражением такой границы плит, если поддвигающаяся плита подстиляет океан, является система глубоководного желоба и островной дуги. Разогревание погружающейся плиты ускоряется

ее адиабатическим нагреванием, стрессовым нагреванием ее холодной верхней поверхности при трении и нагреванием при фазовых переходах, вызванных изменением давления. Вулканическая активность проявляется в тылу деструктурной границы плит над той частью фокальной плоскости, глубина которой составляет 100-200 км. Типичными продуктами этой вулканической деятельности являются пирокласты и лавы известково-щелочных андезитов, ассоциирующих с базальтами, дацитами и риолитами.

Более детально представления о механизме вулканического процесса на деструктурных границах рассмотрим на примере взглядов О.Г.Сорохтина [61] и Л.П.Зоненшайна [13], ссылающихся на материалы по Курильским островам. Прежде всего необходимо отметить, что вулканизм островных дуг типа Курило-Камчатской, рассматривается ими как геосинклиальный. Общепринято под геосинклиналью понимать крупный прогиб морского дна, заполнившийся (заполняющийся) мощной толщей осадочных пород. По гипотезе тектоники плит островным дугам отцано право постоянно быть местом проявления наземного андезитового вулканизма. Почему же его в таком случае можно называть геосинклиальным? Пояснение дает Л.П.Зоненшайн - "современная интерпретация геосинклиального процесса состоит, в первую очередь в том, что он должен рассматриваться как процесс формирования новой континентальной коры преимущественно за счет океанической" [13, с. 282]. Но что представляют собой в вещественном отношении геофизические понятия "континентальная кора" и "океаническая кора" никто не знает. Обосновывать такими неопределенными терминами геосинклиналь с позиции логики недопустимо.

Объяснение механизма островодужного вулканизма предлагается следующим. В зону контакта литосферных плит вместе с океанической корой затягиваются и осадочные породы. Представлены они преимущественно илами и глинами, адсорбированными калий, биогенные вещества и др. При дегидратации погружающейся океанической коры освобождается водяной пар, насыщенный кремнеземом, щелочами и летучими компонентами. В результате диссипации энергии трения литосферных плит в зоне Заварицкого-Бениоффа происходит перегрев образовавшегося водяного пара. Он становится легким, очень подвижным и химически чрезвычайно

активным флюидом, обладающим избыточным давлением. Избыточное давление выжимает этот минерализованный флюид из зоны контакта литосферных плит (все это происходит на глубине 70-150 км), и он начинает подниматься вверх, метасоматически перерабатывая фронтальную часть напоздающей плиты. "Поступающие снизу термальные воды несут с собой большие запасы тепла из глубинных частей геосинклинали, поэтому фронт метасоматических процессов над зоной погружения литосферной плиты постепенно расширяется и поднимается вверх.

По-видимому, процессы такого пропитывания и насыщения пород литосферы богатыми кремнеземом и щелочами горячими флюидами в конце концов приводит к формированию андезитовых и более кислых магм и к проявлениям андезитового магматизма, столь типичного для геосинклинальных областей" [61, с. 9].

Безусловно, каждый исследователь имеет право на создание своей, пусть даже самой умозрительной модели, если при этом учитываются имеющиеся по этой проблеме фактические данные. Применительно к Курильским островам, где автор длительное время работал, эти факты следующие.

I. Андезитовый вулканизм на островах Большой Курильской дуги с верхнего миоцена не проявляется. Вулканогенные образования с этого времени там всеми без исключения исследователями разделяются на кислые (пемзы, игнимбриты, риолиты и их туфы) верхнемиоцен-плиоценового возраста и средне-основные (андезито-базальты и их туфы) плиоцен-антропогена [20]. Приведем данные из сводной работы К.Ф.Сергеева: "Среди пирокластических и эффузивных образований Кунаширского комплекса резко преобладают андезито-дациты, дациты, риолито-дациты и риолиты" [60, с. 71]. Характеризуя вышележащий Большекурильский комплекс (плиоцен-антропоген), он пишет: "Нижние горизонты толщи (мощностью до 500 м) представлены преимущественно темноокрашенными вулканомиктовыми брекчиями, лавобрекчиями и базальтами... Выше по разрезу дополнительно отмечаются пласты и прослои вулканомиктовых песчаников, гравелитов и туфов основного состава... Подавляющее большинство эффузивов толщи (антропогена - В.Д.) представлено базальтами, андезито-базальтами и двупироксеновыми андезитами..." [60, с. 73]. Состав продуктов

извержений вулканов Алаид и Тятя в 1972-1973 годах был базальтовым.

Смена состава продуктов вулканизма от кислых к основным, минуя средние, предложенным механизмом формирования островодужных магм с позиции тектоники плит не объяснима.

2. Термальные воды Курильских островов образуются за счет разбавления вадозными инфильтрационными пресными водами метаморфизованных морских седиментационных вод [21]. По изотопному составу водорода и кислорода выяснена зависимость гидротерм Курило-Камчатской вулканической зоны от местных областей питания. По величинам изотопного кислородного сдвига во всех термальных водах доминируют воды неглубокой циркуляции [19].

Стало быть, по крайней мере для района Курильских островов исходные данные для построения деструктурной границы в обосновании тектоники плит взяты произвольные, не соответствующие действительно наблюдаемым в природе. Отсюда построения, основанные на таких умозрительных данных, нельзя признать объективно существующими.

Заканчивая рассмотрение взглядов плутонистов на причины вулканизма отметим, что оба главных положения, лежащих в основе их воззрений: нагретость недр земного шара и первичность базальтовой магмы, не выдерживают проверки фактическим материалом.

Существующий геотермический градиент прослежен на первых километрах и распространять его значения на десятки километров нет оснований. Более того, этого делать нельзя, потому что в противном случае уже на глубине 50 км температура достигла бы порядка 1500°C. При такой температуре в земном шаре была бы сплошная оболочка расплавленного материала, чего не наблюдается. Следовательно, прогрессивного, т.е. возрастающего с глубиной, роста температуры по мере погружения в недра нашей планеты нет, а отмечается замедляющийся (регрессивный) ее рост. В таком случае говорить об отдаче тепла из глубин, об эндогенной энергии геологических процессов не приходится. Прогрессивного роста температур, как свидетельствуют законы физики, и не может быть, так как с глубиной плотность земного вещества возрастает, а значит растет и его теплоемкость. С глубиной гор-

ные породы при увеличении плотности будут поглощать, а не отдавать тепло.

Сама же магма, как считают геологи-плутонисты в нарушение законов физики, не может быть источником энергии, кроме, конечно, момента остывания. Наоборот, для своего образования из твердого вещества и существования в окружении нерасплавленных, более холодных горных пород магма требует постоянного притока тепла и летучих веществ, иначе она остынет и потеряет подвижность.

Нет никаких геологических свидетельств подъема базальтовой магмы из глубин Земли. Если осадочные породы, являясь по представлениям плутонистов вторичными, образовались за счет первичных магматических, то в этом случае химический состав осадочных пород, чтобы не противоречить законам химии, должен отвечать химическому составу поднявшихся первичных магм. Из глубин земного шара, как считает современная геология, поднимаются магмы основного состава (базальты) и ультраосновного (перидотиты). Статистически усредненный химический состав осадочной породы резко различен от химического состава базальта и тем более от состава перидотита [9]. Кроме того известно, что ниже осадочной оболочки на материках лежит оболочка из гнейсов и гранитов. Химический состав этих пород еще в большей степени, чем осадочных, отличен от базальта

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
осадочная порода	58,11	15,40	6,70		2,44	3,10	1,30	3,24
гранит	71,00	14,30	1,54	1,58	0,74	1,82	3,62	4,02
базальт	50,00	16,48	4,22	6,80	6,30	9,75	2,78	1,24
перидотит	43,60	4,72	4,62	8,01	24,80	12,20	0,73	0,38

Приведенные химические составы различных типов горных пород однозначно указывают на то, что при разрушении базальта и перидотита нельзя получить реально наблюдаемого химического состава осадочной и гранитной оболочек. Следовательно, если бы действительно из недр земного шара поднималась базальтовая магма, то состав верхней доступной непосредственному изучению части литосферы должен был быть резко отличным от наблюдаемого. Стало быть, геологических свидетельств поднятия с глубин ба-

зальтовой магмы нет.

Основные теоретические положения современной геологии, основанной на дедуктивном способе мышления о первоначально расплавленной природе земного шара, находятся в противоречии с накопленными геологическими фактами и законами физики и химии. Следовательно, современную глубинную геологию нельзя называть наукой. По сути своей она представляет собой наукообразный вариант гипотезы плутонизма и поэтому может быть названа плутологией.

Главная причина неудачи плутонистов в объяснении природы вулканизма видится в неучете ими того обстоятельства, что геологические процессы, как большинство природных процессов, относятся к необратимым. Основным следствием необратимых процессов является то, что по конечному результату или веществу нельзя судить о начальном состоянии процесса или составе вещества. Плутонисты оперировали сначала готовой базальтовой магмой, а затем получали ее на глубине именно в том виде, который наблюдали на поверхности. Как бы мы отнеслись к человеку, который, стоя у выхлопной трубы автомобиля, по составу выходящих газов пытался определить устройство мотора и состав используемого топлива? Не этим ли занимаются вулканологи, анализируя из кратеров вулканов газы, лавы и пирокласты?

Кроме того, вулканизм является всего лишь одним из многих геологических процессов, вместе обеспечивающих развитие твердой части земного шара. Рассматривать его изолированно от других геологических процессов как эндогенных, так и экзогенных методологически и диалектически неверно. В главе III приведены примеры связи вулканизма с литогенезом, метаморфизмом, что позволяет более логически выдержано объяснить причины вулканизма.

При всей кажущейся научности объяснение причин вулканизма поднятием неостывшего материала глубин земного шара проповедует библейское представление о возникновении сначала безводной и безжизненной Земли, потом по мере охлаждения конденсацию на каменной оболочке воды с последующим появлением жизни. Но наука и религия несовместимы.

### ГЛАВА III. ПЕРИОД ОБЪЯСНЕНИЯ ПРИЧИН ВУЛКАНИЗМА РАСПЛАВЛЕНИЕМ ИЛИ МЕТАМОРФИЗМОМ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Первым, кто говорил о плавлении осадочных пород в глубинных зонах Земли был Дж.Геттон, изучавший во второй половине XVIII века горные породы Шотландии. Выявив расплавленную природу гранита и траппа (базальта), метаморфическую кристаллических сланцев и гнейсов, он в своих рассуждениях пришел к выводу о круговороте вещества твердой части земного шара. История Земли, по Дж.Геттону [64], состоит из бесконечного числа замкнутых циклов, во время которых поверхностные агенты разрушают горные породы суши, обломочный материал сносится в глубокие зоны океана, где под воздействием внутреннего тепла происходит переплавление и метаморфизм рыхлых осадков, превращающихся в кристаллические горные породы.

В геологии почему-то сложилось и продолжает существовать убеждение, что для перехода рыхлых тонкообломочных (коллоидных или аморфных) продуктов выветривания в кристаллические образования необходимо затратить энергию. Между тем, согласно закону физической химии, кристаллизация приводит к образованию веществ с меньшей энергией. Следовательно, при метаморфизме глин в гнейсы и граниты энергия будет выделяться, а не поглощаться. Игнорирование этого закона физической химии и приводит геологов к необходимости допущения наличия гипотетического глубинного тепла.

Из приведенных представлений Дж.Геттона видно, что его нельзя считать основоположником плутонизма, объяснявшего в XIX веке вулканизм поднятием первичного неостывшего расплава на земную поверхность. Да, в отличие от нептунистов, Дж.Геттон обосновал плутоническую (магматическую) природу гранита и траппа, но расплав он получал от плавления погружившихся и изменившихся осадочных пород. Исходя из этого, учение Дж.Геттона правильнее считать предвестником учения о геосинклиналях. Плутонисты, как известно, об осадках и осадочных породах, их погружении вообще не говорили. Не интересовал плутонистов и метаморфизм погружающихся осадочных пород, иначе пришлось бы

говорить о расплавлении осадков с ненужностью в этом случае первичного расплава.

### I. Представления Ч.Лайеля.

Эпоху в развитии естествознания составил главный труд Чарлза Лайеля (1797-1875) "Основы геологии", вышедший в 1830-1833 годах. В противоположность господствовавшей в то время теории катастроф, Ч.Лайель разработал эволюционное учение о медленном и непрерывном изменении земной поверхности под влиянием постоянно действующих и в настоящее время факторов (атмосферные осадки, поверхностные воды, извержения вулканов и др.).

"Какие вещества составляют землю, и как эти вещества в ней расположены? вот первые вопросы геологии..." [34, с. 5] — этот призыв актуален и в настоящее время. Ч.Лайель в своих исследованиях исходил не из общепринятых положений его эпохи, а пользовался природными фактическими данными, полученными при практической деятельности геологов. Он видел, что на земной поверхности все горные породы под действием атмосферных осадков, перепада температур разрушаются. Продукты разрушения сносятся реками в моря, где образуются слоистые водные (осадочные) горные породы. Погружаясь в глубь земного шара, с возрастанием температуры осадочные породы могут перейти в расплав, а могут в твердом состоянии под влиянием высокой температуры и давления преобразоваться (Ч.Лайелем для этого процесса был предложен термин "метаморфизм") и перейти в гнейсы и сланцы.

На основании этого Ч.Лайель выделяет четыре типа горных пород: водные, вулканические, плутонические и метаморфические.

Водные породы, называемые также осадочными, состоят из различных слоев или пластов. Они занимают большую часть земной поверхности по сравнению с породами других типов.

Вулканические породы "произведены действием огня или подземного жара, в отдаленное или близкое к нам время, близ самой поверхности земли, или на незначительной глубине..." [34, с. 10]. Распространены они гораздо ограниченной осадочных формаций, по крайней мере в горизонтальной плоскости поверхности земного шара.

К плутоническим породам, т.е. бывшим сначала в расплавленном состоянии и закристаллизовавшимся на глубине, отнесены гранит и порфир.

Метаморфические породы, такие как кристаллические сланцы и гнейсы, первоначально отлагались в воде в виде обыкновенного осадка. При последующем погружении и воздействия подземного жара, они до такой степени изменились, что получили новое строение. Обычные осадочные породы сделались полностью кристаллическими. Принимая гипотезу Дж.Геттона для объяснения образования таких пород, Ч.Лайель измененные слоистые породы называет метаморфическими (преобразованными). И как крупный ученый, он не побоялся сказать, что полностью понять механизм процесса метаморфизма ему не удалось. "Хотя мы не знаем в точности свойства этого влияния, которое произвело вышеозначенные причины, тем не менее очевидно, что существует некоторая аналогия между этим влиянием, и тем, которое исходит от жары и вулканических газов. Следовательно, действие это весьма справедливо можно назвать вулканическим; оно, по-видимому, развилось в той же области, где получили начало плутонические породы, и при тех же условиях давления. Трудно решить, что произвело это кристаллическое строение, горячая вода, пар, но очевидно, что это часто зависело от влияния плутонического на слоистые породы" [34, с. 14].

Рассмотрев четыре типа горных пород, Ч.Лайель указывает, что ранее ученые несправедливо относили все граниты и кристаллические сланцы к первичнообразованным, на которые потом отложились водяные и вулканические породы, т.е. вторичнообразованные. Такое ошибочное понимание было принято "во время младенческого состояния науки", когда все породы считались водного происхождения - в период непунизма. Кроме того считалось, что "основание должно быть древнее верхней части здания, но после увидели, что это мнение не всегда согласовано с наблюдениями и фактами, потому что нижние части земной коры нередко были совершенно изменяемы влиянием вулканических и других причин, между тем как верхние остались без всякого изменения" [34, с. 14]. Поэтому слова "первичный" или "первобытный", которыми ранее называли все кристаллические породы, должны быть оставлены.

Ч.Лайель предлагает их называть гипогенными. "Это слово означает, что гранит, гнейс и другие кристаллические сланцы сходны с породами, внизу образовавшимися..." [34, с. 15].

Под земной корой он подразумевал ту небольшую наружную часть земного шара, которая доступна для наблюдений человека, и о которой можно судить только по исследованиям ее поверхности или ближайших к ней частей. Эти исследования могут простираться на глубину 15 или 16 км. Тем самым еще в первой трети XIX века Ч.Лайель пришел к выводу о преимущественном сложении земной коры (при ее мощности 15-16 км) осадочными и находящимися под ними метаморфическими породами. А через столет с позиции плутонизма Ф.У.Кларк и Г.С.Вашингтон [76] подсчитали, что земная кора при той же мощности в 16 км на 95% состоит из изверженных (магматических) пород, что принимается геологами и в настоящее время.

Ч.Лайель предполагал, что вулканическая деятельность зарождается в верхней части земной коры. Лава возникает при плавлении осадочных пород. При значительной мощности осадочных отложений температура нижних погружившихся слоев, находящихся ближе к раскаленному ядру, может быть очень высокой и достаточной для их расплавления. Расплавлению способствует также присутствие воды в осадочных породах.

К своим представлениям о значительном распространении в земной коре осадочных пород и о вулканизме как местном и случайном явлении, связанном с химизмом земных недр, Ч.Лайель пришел при изучении отложений "третичной формации", т.е. исследования мощных стратифицированных толщ осадочных пород, содержащих хорошо сохранившиеся остатки фауны.

Как указывает М.Неймайр [46], против этой гипотезы Ч.Лайеля были высказаны следующие возражения. При значительных колебаниях химического состава осадочных пород, образовавшиеся за счет их расплавы при остывании должны были сформировать массивные горные породы различного химического состава. Однако химические составы массивных (вулканических и плутонических) горных пород в общем сходны.

Необходимо отметить, что представления Ч.Лайеля о метаморфических породах сразу нашли отклик среди русских ученых.

П.С.Усов принял четырехчленное деление горных пород на осадочные, plutонические, вулканические и метаморфические. "Гнейс есть порода метаморфическая, которую ни в коем случае нельзя смешивать с гранитом" [67, с. 286]. Также убедительно им доказывалась метаморфическая природа всех кристаллических известняков и мраморов, происхождение которых многими (см. табл. I) тогда считалось plutоническим. Главным фактором метаморфизма признавалось тепло расплавленных глубинных масс земного шара.

В целом, суть взглядов Ч.Лайеля на последовательность геологических процессов заключалась в следующем. На земной поверхности все горные породы в результате выветривания разрушаются. Продукты выветривания с суши сносятся в море, где образуются осадочные породы. Погружение осадочных пород в глубинные зоны земной коры, сопровождаемое повышением их температуры, приведет к их метаморфизму с возникновением метаморфических пород. В отдельных участках высокая температура может привести к расплавлению пород. Последующее остывание расплава сформирует plutонические (на глубине) и вулканические (на поверхности) породы. Будучи выведенными на дневную поверхность plutонические и метаморфические породы начнут разрушаться, образуя осадочные породы.

## 2. Представления о причинах вулканизма в учении о геосинклиналях

Обобщение конкретного фактического материала по геологическому строению штата Нью-Йорк позволило Дж.Холлу в 1859 году прийти к выводу о том, что на месте Аппалачских гор ранее существовал крупный прогиб, заполненный затем осадочными породами. Такие крупные синклинальные депрессии, выполненные осадочными породами большой мощности, Джеймсом Д.Дена в 1873 году было предложено называть геосинклиналями.

Учение о геосинклиналях сыграло выдающуюся роль в ускорении выяснения геологического строения нашей планеты. В настоящее время в пределах земной коры материков (наиболее изученной в геологическом отношении части земного шара по сравнению с земной корой океанов, исследуемой преимущественно косвенными геофизическими методами) выделяются два типа структур: платформы и геосинклинали (геосинклинали, закончившие свое разви-

тие: Урал, Аппалачи, Алтай и др., часто называют складчатыми областями соответствующего возраста). Считается, что фундамент платформ сложен метаморфизованными, гранитизированными образованиями бывших геосинклиналей, смятыми в сложные складки.

Тем самым, исходя из сегодняшнего представления о геологическом строении материков, можно сделать вывод, что земная кора их сложена главным образом метаморфическими породами, перекрытыми сверху толщами осадочных пород — чехол платформ и верхняя неметаморфизованная часть разреза складчатых областей. Метаморфизму, поэтому, в учении о геосинклиналиях всегда уделялось значительное внимание. Подтверждение этому можно видеть в трудах французского геолога Гюстава Эмиля Ога (1861—1927), разработавшего учение о геосинклиналиях в начале XX века. Он писал, что "метаморфизм создает новые кристаллические породы почти исключительно из осадочных пород громадной мощности" [51, с. 171].

По представлениям Г.Э.Ога, постепенное опускание дна геосинклинали во все более глубокие области земного шара должно привести к тому, что осадочные слои, погружившись в изотермические зоны все повышающейся температуры, окажутся наконец в таких условиях температуры и давления, при которых влияние минерализаторов будет достаточным, чтобы превратить их в гранитную магму. "После охлаждения, на месте осадочных пород окажутся, смотря по их природе, или гранит, или другие гранитовидные породы" [51, с. 182]. Происхождение гранита Г.Э.Ог рассматривает в главе "Метаморфизм". Наличие постепенных переходов между гранито-гнейсами, достоверно метаморфическими породами, и настоящими гранитами дает основание смотреть на граниты как на конечную стадию метаморфизма. Не исключается, что "таким же образом следует объяснять происхождение основных гранитовидных пород, как например, сиенитов, диоритов, габбро и др."

Взгляды Г.Э.Ога на плавление, как на заключительную стадию метаморфизма находились в полном соответствии с ранее высказанными представлениями Ч.Лайеля, который не исключал плавление из процессов метаморфизма, а считал плавление высшей стадией метаморфизма. Ч.Лайель писал: "Граниты могли быть резуль-

татом того же самого процесса, соответствуя более интенсивной его стадии, при которой происходило полное плавление; именно этим способом можно объяснить существование переходов между гнейсами и гранитами" [57, с. 72].

В конце XIX века подобных взглядов на происхождение гранита, а также более основных полнокристаллических пород придерживались многие английские и северо-американские геологи. А.Г.Грин, например, в 1882 году, объясняя происхождение гранитов Озерного края Южного нагорья Шотландии, считал расплавление пород высшей стадией метаморфизма. Им выделялись три типа гранитов, различающиеся формами залегания. К первому отнесен полосчатый гранит, переслаивающийся с явно осадочными породами. Своим образованием он обязан умеренному избирательному метаморфизму осадочных пород. Гранит второго типа залегает в виде бесформенных масс, не имеющих четких эруптивных контактов. Вызвано это тем, что эти граниты выплавливались из осадочных пород и оставались *in situ*. Они представляют собой результат более высокой степени метаморфизма, приводящей к расплавлению осадочных пород, хотя и не являющейся достаточно энергичной, чтобы создать расплав, способный к перемещению. Граниты третьего типа — несомненно эруптивные и с силой внедрились в породы, среди которых залегают. "Эруптивное поведение этих гранитов может быть хорошо объяснено увеличением количества энергии того метаморфического процесса, который привел к его возникновению" [57, с. 74]. По данным М.М.Романовой [57], автор термина "геосинклиналь" Д.Дена в 1880 году утверждал, что граниты, нориты, горнблендиты и широксениты произошли от переплавления ранее существовавших осадочных пород.

О метаморфической природе гранита в первой половине XIX века говорил, основываясь на постепенном переходе сланцев и гнейсов в граниты, норвежский ученый Б.М.Кейльгау [57]. Им в 1836 году для процесса преобразования осадочных пород в граниты в твердом состоянии был предложен даже специальный термин — "гранитификация". При этом его не смущал тот факт, что он не мог объяснить сути химических превращений, происходивших при гранитификации. Причина ему виделась в недостаточном развитии химии. Скептически относился Б.М.Кейльгау и к возможности про-

верить его выводы химическими методами в лаборатории, так как геологические явления, по его мнению, не могут быть воспроизведены в искусственных условиях, прежде всего из-за кратковременности опытов.

Однако, как это довольно часто бывало в геологии, победило не это индуктивное представление о метаморфическом или палингенном происхождении гранитов, основывавшееся на результатах изучения реальных природных объектов, а другое — дедуктивное, объяснявшее формирование гранита исключительно за счет кристаллизационной дифференциации первичной базальтовой магмы. Почву для принятия столь гипотетического представления, помимо дедуктивного образа мышления большинства геологов, подготовил развивавшийся микроскопический метод изучения горных пород и успехи физической химии.

В последней четверти XIX века немецкий ученый Карл Генрих Фердинанд Розенбуш (1836-1914) разработал физико-оптический метод определения минералов в шлифах, дал описание микроскопического метода исследования горных пород. Г.Розенбуш и представители его микроскопической школы детально изучали полнокристаллические породы. Четко выраженное кристаллическое строение этих пород, включая гранит, для Г.Розенбуша и его последователей свидетельствовало об их кристаллизации из расплава. Все полнокристаллические породы объяснялись образовавшимися из магмы. Эта точка зрения, к сожалению, быстро стала господствующей среди геологов. Г.Розенбуш главную причину разнообразия полнокристаллических пород видел в особенностях кристаллизации магмы, вызвав своим авторитетом дополнительный импульс экспериментальным исследованиям по кристаллизационной дифференциации магмы.

В дальнейшем, в начале XX века, Н.Л.Боуэн экспериментальным изучением кристаллизации базальтовых расплавов (первичной магмы) показал возможность получения магматических пород от кислого до ультраосновного состава. И гранит с тех пор абсолютным большинством геологов определялся только как магматическая порода, вопреки возражениям специалистов, разрабатывавших и углублявших учение о геосинклиналях.

К сороковым годам XX века увлечение геологов гипотезой

Л.Н.Боуэна, при ее неспособности объяснить громадные массивы гранитоидов (при кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы может получиться не более 5% гранитной магмы, а объемы гранитных тел в литосфере материков преобладают над объемами базальтовых тел), вызвало "кризис магмы". Развернулась дискуссия о природе гранитных магм, в результате которой утвердилось представление об их палингенной природе, т.е. при плавлении главным образом метаморфических пород, о чем еще в начале XX века говорил Г.Э.Ог. Граниты, кроме того, по современным представлениям, образуются и при гранитизации: преобразовании осадочных и метаморфических пород в граниты без перехода в расплавленное состояние.

Глава XVII книги Г.Э.Ога посвящена вулканическим извержениям. Под ними он понимал "проявления внутренней энергии земного шара, приуроченные к определенным местам земной поверхности, которые называются вулканами. Вулкан же можно определить как устье канала, через которое постоянно или периодически выбрасываются из земных недр наружу вещества высокой температуры" [51, с. 241].

Одной из характерных особенностей вулканических извержений Г.Э.Ог считал выброс вулканами в огромном количестве водяных паров и газов. Рассмотрены три основные причины этого.

По распространенной ранее гипотезе прибрежной локализации вулканов предполагалось, как указывает Г.Э.Ог, поступление в трещины, идущие вдоль берегов, морской воды, которая затем проникала в недра земного шара, где вступала в соприкосновение с расплавленными внутренними массами. Происходило ее внезапное испарение, обуславливавшее вулканические взрывы и поднятие лав к поверхности. Эта гипотеза объясняла как причину самих извержений, так и чрезвычайно обильное выделение водяного пара и хлористых соединений во время извержений. Но она не может объяснить причины извержений вулканов, находящихся от морских побережий на сотни километров - необходимо допускать существование протяженных трещин, по которым морская вода поступала бы к таким вулканам.

Г.Э.Ог предлагает для объяснения причин большого количества выбрасываемого при извержениях пара рассматривать эволю-

цию накопившихся большой мощности осадочных пород. При плавлении этих пород должна выделяться вода, входящая в состав их минералов. Ссылаясь на результаты опытов А.Готье по прокаливанию в вакууме измельченных порошков горных пород, Г.Э.Ог приводит данные о том, что из 1 кг гранита, раскаленного докрасна, получается 10 г воды и количество газа, которое в 6-7 раз превышает объем породы. Тем самым, "породы, попадая на глубину, испытывают на себе действие очень высокой температуры и выделяют вследствие этого воду и газы, тождественные с газовыми извержениями вулканов и в количестве, достаточном для объяснения происхождения громадных масс водяного пара, выбрасываемых во время пароксизмов вулканической деятельности. Так, во время извержения Этны в 1865 году, длившегося 200 дней, пар, по приблизительному подсчету Фуке, выбрасывался в количестве 11 000 тонн в день, что составило около 2 миллионов тонн за весь период деятельности вулкана. А так как 1 куб. километр гранита, раскаленного докрасна, дает около 27 миллионов тонн воды, то, по вычислениям А.Готье, достаточно было бы четверти этого количества на все извержения Этны 1865 года" [51, с. 311].

Обсуждая происхождение лав, Г.Э.Ог пишет о постепенном опускании дна геосинклиналей, приводящем к расплавлению осадочных пород, уже сильно метаморфизованных. Однако такой процесс, по его мнению, не может объяснить присутствия в вулканических продуктах окислов щелочных металлов, которых почти нет в осадочных породах. Откуда же их взять? Конечно из всемогущих глубин земного шара. "Трудно потому не согласиться с гипотезой сплошной пироксферы..." [51, с. 309], из которой могут поступать соединения щелочных металлов.

Термальные воды не считались Г.Э.Огом продуктами вулканических извержений и описаны в самостоятельной главе "Фумароллы и горячие источники". В ней, в основном, рассмотрены гипогенные или глубинные источники. Указывается, что вода обыкновенных источников имеет поверхностное происхождение. Эти источники питаются или дождевой водой, просочившейся через те или другие породы, или текучей, временно ушедшей в верхние слои земной коры. Сравнительно высокая температура воды части таких источников объясняется подъемом жидкости с таких глубин, где уже

господствует довольно высокая температура. Обычно вода их бывает минерализована теми солями, которые она встречает на своем пути. "Но наряду с такими источниками существуют источники глубинного происхождения, обыкновенно богатые газами и растворенными минеральными веществами; связь этих источников с вулканическими явлениями очевидна, или потому, что они сосредоточены в областях вулканической деятельности древней или недавней, или потому, что их минерализация не находит себе объяснения в минеральном составе пород, по которым они поднимаются" [51, с. 271]. К таким глубинным источникам отнесены газовые струи (соффиони), представляющие собой струи водяного пара, выбрасываемые на различную высоту, гейзеры — периодически бьющие источники несомненно вулканического происхождения, так как они связаны с сольфатарной фазой вулканической деятельности рядом переходящих ступеней, и горячие источники (термы). Характеризуя последние, указывается на существование целой серии горячих источников, температура воды которых меньше 100°C.

При этом бывает трудно отличить источники, питающиеся водой из поверхностных слоев земной коры, от настоящих глубинных источников, "но все минеральные источники вулканических областей безусловно относятся к категории последних" [51, с. 272].

В качестве примера приведено объяснение Э.Зюссом глубинной природы карлсбадских источников. Температура воды в некоторых из них достигает 77°C. Вода источников минерализованная, в частности содержит много щелочных солей, причем натрия среди них является преобладающим элементом. А так как горячие воды проходят по трещинам через граниты, богатые преимущественно калием, то они не могут быть минерализованы теми гранитными породами, по которым они поднимаются на поверхность.

Еще большую трудность вызвало объяснение присутствия в термальных водах хлористых веществ, которых почти нет в осадочных породах. Вынужденный обратиться к "геологическому богу" — глубинным частям земного шара, присутствие хлористых веществ Г.Э.Ог объяснял поступлением их из раскаленной зоны земной коры (пиросферы). Пиросфера выделяет не только хлористые соединения, но и сернистые, мышьяковистые, углеродистые и др.

Современный читатель легко найдет в рассматриваемой кни-

ге Г.Э.Ога причину вынужденного обращения его к разрешающим все геологические проблемы глубинам Земли. Дело в том, что в то время еще очень слабо была развита гидрогеология. Плутонисты, которые направляли развитие теоретической мысли в геологии, в геологической деятельности подземных вод не нуждались, а проблема подземного водоснабжения перед человечеством еще не стояла. Из подземных вод Г.Э.Огу известны были лишь те, формирование которых объяснялось инфильтрацией выпавших атмосферных осадков. Такие пресные воды, естественно, хлоридов не содержат. В то же время, в его книге отсутствует какое-либо упоминание о морских седиментационных водах, которые, как сейчас выяснилось, широко развиты в толщах осадочных пород до глубин 5 км и более. Они бы и дали Г.Э.Огу те хлористые соединения, которые он, в силу недостаточной развитости гидрогеологии, вынужден был заимствовать из пиросферы.

Дальнейшее развитие учения о геосинклиналях подтвердило связь метаморфизма и гранитного магматизма с геосинклинальными областями, внеся коррективы в причины проявления этих процессов. Если первоначально метаморфизм и гранитоидный магматизм считали связанными с погружением на значительную глубину накапливающихся осадочных пород, то теперь причиной их предполагаются орогенические (складчатые) деформации накопленных осадочных толщ, т.е. движения сжатия. "В настоящее время полагают, что этот магматизм является следствием палингенеза сиалической оболочки" [49, с. 131].

Наиболее же распространенный на земном шаре вулканизм основного состава, как проявляющийся в начальную и затем постгеосинклинальную стадии, в учении о геосинклиналях не рассматривается. Вулканизм основного состава обычно проявлялся на платформах материков и широко развит в настоящее время в океанах.

### 3. Попытка объяснения площадного базальтового вулканизма метаморфизмом погрузившихся осадочных пород

Проблема происхождения базальта в истории геологии часто играла существенную роль в утверждении концепций, определявших развитие геологической мысли. Принятие нептунистами осадочной природы базальта нанесло непоправимый удар всему нептунисти-

ческому направлению, в целом правильно заострявшему внимание на главенствующую роль накопления осадков при формировании непосредственно наблюдаемой части земного шара.

С начала XIX века в геологии утвердились позиции плутонического учения, и происхождение базальта стали объяснять поднятием и последующим остыванием первоначально расплавленного материала. Возникло представление о первичной базальтовой магме. Ее не нужно было получать, а можно было считать уже готовой, извечно существовавшей. В общих чертах оно сохранилось и до настоящего времени. Однако современное объяснение происхождения базальтовой магмы из твердого вещества верхней мантии встречает все больше трудности, так как при предполагаемом сбросе давления вдоль разломных (трещинных) зон расплава базальтового состава из ультраосновного материала подкоровой области не получишь [5, 16]. Необходимо убрать литостатическую нагрузку, соответствующую вышележащей толще пород мощностью нескольких десятков километров. По этой же причине не спасает и сверхглубинный диапиризм вещества мантии.

Все это обязывает рассмотреть вопрос возможного более близкого поверхностного (корового) получения базальта. Для этого ознакомимся с геологической позицией проявлений площадного базальтового вулканизма.

Как отмечает Г.Ф.Макаренко, "более 70% твердой поверхности нашей планеты перекрыто наружной оболочкой из базальтовых лав. В сравнении с толщиной земной литосферы она - всего лишь тонкая внешняя пленка" [43, с. 3]. Такая тонкость, несмотря на значительное площадное развитие базальтового вулканизма, не дает основания говорить о грандиозности явлений вулканизма основного состава, что часто делается. На материках к этой пленке относятся траппы, а в ложе океана базальты под чехлом неуплотненных осадков.

Рассматривая базальтовые поля Земли в пространстве и геологическом времени, Г.Ф.Макаренко [43] пришла к выводу об общности структурного положения областей проявления базальтового вулканизма материков и океанов. По ее мнению, приуроченность трапповых провинций к синеклизам платформ с их мощными плитными чехлами свидетельствует о главной тенденции дотраппового

развития этих блоков земной коры, выражающейся в устойчивом и длительном погружении. Современные океаны ею также определяются погруженными мегаструктурами. В большинстве океанов нижние толщи осадков, лежащих на базальтах, сравнительно мелководные и формируются на стадии постепенных погружений до уровня карбонатной седиментации. "Их можно представить как ранние плитные слои, отложившиеся поверх финальных базальтов, перекрывших погруженные в океан предполагаемые геосинклинальные консолидированные системы" [43, с. 106]. Современное состояние океанов, вне систем срединных хребтов, отражает платформенный режим накопления осадков. "И материковые, и океанические надбазальтовые слои возникают в сходных структурно-морфологических обстановках после образования толеит-базальтовых полей, хотя и на разных гипсометрических уровнях" [43, с. 106].

Поэтому не удивительно, что практически каждое из базальтовых полей ложа океана смыкается вдоль или вкрест простирания со своим материковым (трапповым) аналогом и совместно с ним сечется общими системами разломов. Как на суше, так и в океане, поля базальтов приурочены к отрицательным структурам, выраженным понижениями рельефа. На суше это синеклизы, разного рода депрессии, а за пределами суши - котловины морей и океанов. Подобные характерные особенности положения базальтовых полей материков и океанов свидетельствуют об общности их формирования. Рассмотрим это на примере трапповых полей материков, как лучше геологически изученных.

Трапповые поля платформ лежат обычно на осадочных породах чехла, ниже которых находится платформенный фундамент. Сложен фундамент различной степенью метаморфизованными породами. Под тяжестью накапливающихся осадочных отложений чехла платформы формирующихся синеклиз метаморфизм пород фундамента будет продолжаться.

Определяющим фактором регионального метаморфизма, как известно, служит литостатическое давление вышележащих толщ горных пород, которое не позволяет даже высоконагретым образованиям перейти в расплавленное состояние. По этой причине в глубинных частях земного шара и не может быть не только сплошной оболочки, но даже сколько-нибудь значительных участков распла-

вленного материала, что подтверждается результатами сейсмических исследований. С глубин 10-15 км в литосфере, поэтому, могут быть только метаморфические породы, т.е. преобразованные значительным литостатическим давлением, "(ниже их никакие другие породы, тем более стекловатые базальты, существовать не могут)" [21, с. 95]. Отсюда и трудности с объяснением причин площадного базальтового вулканизма путем поднятия уже готовой глубинной магмы. Для этого необходимо мгновенно убрать большую часть литостатической нагрузки или толщу вышележащих пород мощностью в десятки километров, чего на нашей планете (к радости всех живущих!) не происходит. Конечным же, известным на сегодня результатом регионального прогрессивного метаморфизма осадочных терригенных пород в присутствии воды, являются гранито-гнейсы, граниты. Обсудим геологические следствия региональной гранитизации или в общем случае ультраметаморфизма.

Прежде всего необходимо отметить масштабность регионального метаморфизма с его конечной стадией ультраметаморфизмом в сравнении со всеми другими геологическими процессами как экзогенными, так и эндогенными. Выветривание, например, происходит в пределах суши, захватывая первые метры, редко десятки метров толщи горных пород от дневной поверхности. Литогенез осуществляется главным образом в морях и океанах, приводя к накоплению осадков и их превращению в осадочные породы мощностью до 10-15 км. Магматизм, если судить по распространенности его конечных результатов - магматических тел глубинного и поверхностного формирования, так же не проявляется одновременно по всему земному шару. И только региональному метаморфизму подвержен весь материал литосферы материков и океанов с глубин 10-15 км.

Учитывая все возрастающее литостатическое давление, нижняя граница зоны регионального метаморфизма должна простираться до глубин сотен и даже тысяч километров, пока будут сохраняться химические элементы с их электронными оболочками, а стало быть возможны минералы и горные породы. На всем этом интервале могут существовать только метаморфические породы.

Процессы регионального метаморфизма, включая гранитизацию,

обязательно сопровождаются минералогическими и химическими изменениями пород в твердом состоянии [62], являющимися по сути своей метасоматическими, т.е. сопровождающимися привносом и выносом вещества. "Метасоматические структуры, типичные для гранитизированных пород, являются непосредственным показателем явлений привноса и выноса вещества. Происходящие при этом минеральные превращения документируют фиксацию привнесенного вещества, вынесенного из подвергающихся гранитизации пород. Исследования показывают, что в обычных случаях в пределах больших областей гранитизации не встречаются породы, которые могли бы служить источником привнесенного при гранитизации вещества, а также отсутствуют породы, которые можно было бы рассматривать как поглощающие материал, удаляемый при гранитизации. Этот факт заставляет считать, что миграция вещества происходит в больших масштабах и позволяет рассматривать гранитизацию как процесс регионального метасоматоза" [62, с. 408].

Указывается о существовании определенной направленности в процессах гранитизации: привнос щелочей и кремния и вынос железа, магния и кальция, а также воды. Установленные перемещения вещества на большие расстояния свидетельствует о преимуществах фильтрации перед диффузией в этом сложном природном процессе.

Как указывает Н.Г.Судовиков, "при гранитизации выносятся большое количество Fe, Mg, Ca и, вероятно, не малые количества других элементов, находящихся в первоначальных породах в виде аксессуарных компонентов. Факт исчезновения этих элементов из области гранитизации хорошо документируется, но дальнейшее их поведение не представляется в достаточной мере ясным" [62, с. 430]. Неясность эта вызвана перемещением вынесенных веществ на большие расстояния за пределы зоны метаморфизма. Для объяснения этого явления П.Термье еще в 1912 году была предложена гипотеза "фильтрационных колонн". Согласно этой гипотезе "приходящие снизу элементы" гонят вперед "старые элементы", заменяя их при гранитизации. Если придерживаться такого понимания, то компоненты основного состава должны отлагаться где-то выше области гранитизации" [62, с. 432].

Таким образом, мы практически объяснили причину проявления площадного базальтового вулканизма. Это - региональный ме-

таморфизм погруженных осадочных пород. В этом случае становится понятным, почему базальтовые поля обычно приурочены к отрицательным формам рельефа. Метаморфизм сопровождается уплотнением пород, что при громадных масштабах явления должно найти отражение в прогибании поверхности земного шара. "Правило постоянства объемов Линдгрена при метасоматической гранитизации строго соблюдается лишь в верхних частях земной коры в условиях упругих деформаций, а в более глубинных уровнях, так же как и при наличии стресса, метасоматическая гранитизация происходит в условиях изменения и, как правило, уменьшения объема пород" [38, с. 20]. Легко в этом случае объясняется хорошо известный факт преимущественного развития в изученной прямыми методами части литосферы глубинных пород кислого состава (гранитов) и поверхностных, вулканогенных пород основного состава (базальтов).

К сожалению, приходится констатировать, что дать полное детальное описание всего комплекса процессов седиментогенеза, диагенеза, эпигенеза, катагенеза, метаморфизма и эволюции выжимки из отжатых железа, магния и других элементов не представляется возможным, так как геологи еще не заинтересовались им. Несмотря на всю очевидную необходимость ее решения, приходится согласиться с Н.Г.Судовиковым, что большинство "геологов в своих рассуждениях затрагивают эту проблему главным образом с философской стороны" [62, с. 438]. Но даже на этой начальной стадии решения проблемы мы опирались на результаты конкретно наблюдаемых геологических процессов, что позволило полностью отказаться от привлечения гипотетических глубинных зон земного шара. Последовательный метаморфизм аргиллита в глинистый сланец → филлит → слюцистый сланец → гнейс → гранито-гнейс → гранит можно наблюдать в конкретных разрезах (такой порядок смены горных пород был известен еще нептунистам в XVIII веке) и достоверность этого процесса ни у кого не вызывает сомнения.

П.Лападю-Аргом [35], например, рассмотрен вопрос о наличии привноса вещества из внешней среды во время регионального метаморфизма, действующего на осадочную толщу пород алюмосиликатного (глины и осадочные (глинистые) сланцы) состава. Хими-

чески изучены следующие группы пород:

1. Осадочные (глинистые) сланцы.
2. Серицитовые сланцы, слюдястые сланцы с одним мусковитом.
3. Слюдистые сланцы с биотитом и мусковитом.
4. Двуслюдяные гнейсы.
5. Гнейсы гранитоидные, очковые, только с биотитом.
6. Граниты.
7. Гранулиты (аплиты и др.).

Установлено закономерное изменение в метаморфизующихся породах отношения щелочи - алюминий (табл. 2). По мере метаморфизма концентрация  $Al_2O_3$  уменьшается, а содержание суммы щелочей ( $K_2O+Na_2O$ ), наоборот, увеличивается. Кроме того, этим исследователем делается вывод о том, что при переходе от одной группы к другой, т.е. ко все более и более глубинным фациям, индивидуальные колебания в содержании  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  в породах группы сглаживаются. Породы по мере развития метаморфизма имеют тенденцию "стандартизоваться". Удаляясь от глинистых сланцев, можно наблюдать, как прогрессивно теряет различие химический состав более метаморфизованных пород. Ряд заканчивается гранитами - породами общего типа, для которых невозможно определить их первоначальное происхождение.

Содержание  $MgO$  в породах рассматриваемого ряда метаморфизма является функцией глубин и "все выглядит так, как будто  $Mg$  концентрируется в поверхностных зонах и становится все более редким в глубинных" [35, с. 88]. Таким же является поведение  $FeO$ .  $Mg^{2+}$  и  $Fe^{2+}$ , имеющие малые ионные радиусы, очень подвижны, как бы "мобилизуются", изгоняются.

Не совсем ясен процесс образования основной магмы после отжатия из сланцев, гнейсов и гранитов железа, магния, кальция и других элементов. Магма как таковая при этом сначала, видимо, вообще не образуется, а возникает какая-то выжимка (раствор). Геологи со времен плутонистов привыкли брать готовую магму из глубин и без всяких изменений ее физического состояния и химического состава оперировать с ней на поверхности. Свидетельством тому служит сам метод определения глубин зарождения базальтовой магмы. Берется образец базальта и плавится [26].

Температура плавления его оказывается порядка  $1200^{\circ}\text{C}$  (как и жидкой лавы в кратерах вулканов). Учитывая геофизические подсчеты о наличии температуры  $1200^{\circ}\text{C}$  в земном шаре на глубине 50-100 км, делается вывод о допустимости формирования базальтовых расплавов на этих глубинах, т.е. ниже земной коры. Чтобы этого добиться, геологи вынуждены принять положение о затухающем росте температур по мере углубления в недра Земли, ибо при среднем геотермическом градиенте температуры на тех глубинах превышали бы  $1500-3000^{\circ}\text{C}$ . Температура  $1200^{\circ}\text{C}$  при сохранении с глубиной постоянным геотермического градиента была бы получена на глубине менее 40 км, а это не только земная кора, но на материках уже даже гранитный слой.

Однако это нарушение исходных данных для объяснения глубины зарождения базальтовой магмы не последнее. На пути из восстановительных условий к земной поверхности с ее свободным кислородом возникший базальтовый расплав должен окисляться. Расплавление остывшего окисленного базальта потребует уже большей энергии, чем неокисленного. Это хорошо знают сталевары. Стоит переокислить варящуюся сталь в мартеновской печи, как для поддержания ее в жидком состоянии энергии печи уже не хватает - образуется "козел". Если "козел" еще только формируется, то расплав углеродят. Углерод связывается с кислородом, образуя углекислый газ с выделением тепла (как бы помещают сталь в восстановительные условия). Если же "козел" затвердел настолько, что углерод (обычно графитовые стержни) в его тело поместить не удастся, то дело кончается полным браком и выходом мартеновской печи из строя. Расплавить "козел" не удастся. Отсюда очевидно, что неокисленный базальт плавился бы при более низких температурах, следовательно, и расплав его должен возникнуть ближе к земной поверхности.

При гранитизации (метаморфизме) отжимаются не только железо, магний, кальций и другие элементы, но и большое количество воды. Последняя как флюид может переносить эти вещества, вплоть до самородных металлов в условиях повышенной концентрации водорода - в последние годы в магматических породах многими исследователями описаны самородные металлы от давно известного железа до алюминия. Поднимаясь к дневной поверхности, эта

высокоагрессивная масса будет взаимодействовать с вмещающими породами и содержащимися в них подземными водами, изменяя свой состав и состояние. Попадая во все более окислительные зоны, она будет окисляться, разогреваться и, наконец, превратится в привычную нам магму основного состава. Детализация столь сложного процесса зарождения при метаморфизме выжимки основного состава и преобразования ее в магму потребует, возможно, разработки новых методов физической химии, химии, обогатив тем самым не только геологию, но и другие естественные науки.

Не выясненным в этой схеме остается вопрос об энергии, питающей метаморфизм. Ведь главным доводом плутонистов о наличии первичного тепла Земли, как ранее раскаленного тела и потому содержащего в своих недрах первичный расплав, было повышение температуры по мере погружения в глубины земного шара. И наша попытка объяснения базальтового вулканизма результатом ультраметаморфизма погруженных осадочных пород мало чего будет стоить, если энергию для метаморфизма придется брать из тех же гипотетических глубин Земли.

Современная геология сформировалась из посылки, что первичной причиной всех геологических процессов является внутреннее тепло планеты. Основанием для этого послужил, как уже отмечалось, факт увеличения температуры по мере углубления в недра Земли. Объяснялся этот факт категорично и однозначно — раз температура возрастает к центру земного шара, то планета наша ранее была расплавленной, охладилась с поверхности, а внутри ее сохранилось первичное тепло.

Именно с этих позиций в научно-популярной литературе, научно-популярных фильмах кинопроката и телевидения формируется у читателей и зрителей представление о первоначально огненно-жидком земном шаре, на котором после охлаждения возникают атмосфера и гидросфера, первоначально резко отличные по составу от современных, потом появляется жизнь и т.д. Все это было приемлемо 100–150 лет назад и в завуалированном виде пропагандировало библейское представление о сотворении богом сначала безводной Земли, потом появление на ней воды, а затем и жизни, но в наше время научно-технической революции выглядит, мягко

говоря, сильно устаревшим.

Еще в 1921 году академик В.И.Вернадский, основоположник учения о биосфере, указывал на одновременное в процессе консолидации тела Земли формирование ее неживой и живой частей. Им доказывалась устойчивость биосферы с максимально известного времени (архея), проявляющаяся в постоянстве объема ее массы (порядка  $10^{19}$  т), массы живого вещества (порядка  $10^{15}$  т), энергии, связанной с живым веществом (порядка  $10^{18}$  ккал), среднего химического состава всего живого. Жизнь на Земле существовала на протяжении всех известных геологических эр, одинаковым образом отражаясь в химических процессах земной коры. Именно поэтому не наблюдается никакой эволюции земных минералов. Например, граниты от самых древних до кайнозойских сложены одними и теми же минералами. Если бы жизнь возникла, допустим, в протерозое (эре первичной жизни), то архейские горные породы резко бы отличались от протерозойских и фанерозойских. Но никаких различий между ними нет.

Как отмечает геохимик Я.Мияки, "если бы первичная стадия образования Земли отвечала состоянию высокотемпературного газа или огненно-жидкого тела, это наверняка привело бы к тому, что Земля была бы крайне обеднена летучими и существование огромных количеств воды и воздуха было бы невозможно.

Состояние современной гидросферы позволяет сделать вывод, что Земля в своем исходном состоянии содержала существенное количество воды и что ее температура не поднималась столь высоко, чтобы потеря последней стала возможна" [44, с. 65].

Рассмотрение гранитизации как процесса кремнещелочного метасоматического замещения горных пород с перераспределением вещества позволило В.А.Руднику высказать сомнение в состоятельности идеи об образовании земной коры и более глубинных оболочек земного шара в процессе "первичной дифференциации" земного вещества из раскаленного звездного материала протопланеты. Большие масштабы метаморфизма, сопровождающегося перемещением химических элементов, подтверждают, по его мнению, представления В.И.Вернадского, Л.Э.Гуревича, А.И.Лебединского, О.Ю.Шмидта, А.П.Виноградова, Г.Юри, Ю.Б.Левина, В.С.Сафронова, Т.Голда и других ученых о первоначально "гомогенной" по веще-

ственному составу Земле, образовавшейся путем аккумуляции первично холодных космических тел и частиц. В.А.Рудник поддерживает точку зрения о том, "что наша планета никогда не проходила огненно-жидкой стадии, а земная кора не является, как некогда допускали, "накипью" на поверхности Земли" [58, с. 357].

Приведенные фактические данные по биосфере, атмосфере, гидросфере и литосфере противоречат представлению о первично расплавленном состоянии Земли, а стало быть и о первичном глубинном ее тепле. На это могут возразить: а как в таком случае объяснить прошедший процесс химической дифференциации вещества Земли, выразившийся в обособлении земной коры, мантии и ядра? Ответить на это можно так. Оболочечное с различным химическим составом строение земного шара является не фактом, а умозрительным следствием представления о первоначальном его расплавленном состоянии. Земная кора, мантия и ядро являются геофизическими понятиями, не несущими информации по вещественному составу, а отражающими различную плотность вещества, сжимаемого литостатической нагрузкой вышележащих толщ.

И самое главное. Первичность глубинного тепла Земли подразумевает, что по мере углубления в земные недра геотермический градиент должен возрастать и быть более или менее одинаковым для всех участков планеты. На самом деле все обстоит как раз наоборот. Геотермический градиент различен для областей с неодинаковым геологическим строением и, как считают большинство специалистов, ослабевает с глубин нескольких километров. По крайней мере никто не говорит о температурах  $3000^{\circ}\text{C}$  на глубинах 100 км при среднеземном градиенте  $3^{\circ}\text{C}$  на 100 м. А если бы тепло было глубинным, то температуры на глубинах 100 км должны были быть еще большими, так как количество тепла, проходящего через единицу площади, по мере погружения к центру Земли, как сферы, должно резко увеличиваться. Говорить о прогрессивном росте геотермического градиента не приходится. Наоборот, отмечается замедление его роста по мере погружения в недра планеты: на глубине 2 км температура больше, чем на глубине 1 км, но не в два раза, а чуть меньше. Это однозначно свидетельствует против излучения глубинами земного шара тепла.

Наиболее последовательно отрицание роли внутреннего тепла

Земли обосновывалось Б.Л.Личковым, который пришел к выводу, что геодинамические (им рассматривались преимущественно геотектонические) процессы являются не столько следствием внутренних физико-химических процессов, сколько результатом действия внешних космических сил и сил вращения земного шара. Рассматривая модель "астероид  $\rightarrow$  планета", он подчеркивает преобладание сил сцепления в астероидах, форма тел которых поэтому может быть неправильной. При планетарной массе начинают преобладать гравитационные силы, приводящие к расплыванию вещества в твердом состоянии до формирования сферического тела. Из этого делается вывод, что закон тяготения должен быть основой для понимания истории происхождения и развития Земли. Не менее важно учитывать вращение земного шара и особенно изменение во времени скорости его вращения, определяющей расположение океанов и материков, закономерную ориентировку земных деформаций.

Перемещения твердого вещества при образовании сферической планеты из астероида неизбежно приводили к формированию материковых поднятий и океанических опусканий. Следовательно, поднятия и впадины, по мнению Б.Л.Личкова, сразу создавались как структуры равновесия, причем "процесс создания дна океана был параллелен процессу заполнения его водой" [38, с. 60]. С тех пор во все геологические периоды особенностью строения земной поверхности является наличие материков и океанов, которые размерами своих структур уравнивают друг друга. Сущность равновесия вытекает из правила Бомье:  $2,70$  (площадь океанов)  $\times$   $1,0$  (плотность воды) =  $2,70$  (плотность горных пород материков)  $\times$   $1,0$  (площадь материков). Изменения скорости вращения Земли и положения земной оси приводят к перераспределению вещества литосферы и гидросферы, миграции материков и океанов.

Динамические причины развития Земли, считал Б.Л.Личков, "рождаются в ходе взаимодействия основных оболочек Земли - гидросферы, атмосферы, литосферы и частью мантии. Взаимодействие это носит гравитационный характер, поскольку в основе его лежит гравитационное движение масс этих оболочек. Ведь при вращении планеты обязательно имеет место движение ее оболочек - воздуха, воды, твердой коры (литосферы) и пр., которые об-

ладают различной скоростью" [38, с. 78]. Взаимодействие литосферы, гидросферы и атмосферы имеет солнечно-лунный генезис, больше всего определяясь динамическим воздействием Солнца и Луны и термально-радиоационным воздействием Солнца.

В земной коре Б.Л.Личковым выделялись два ряда тепла: радиоактивное и солнечное. Ссылаясь на Л.Грейтона [16], им сообщается о безуспешности попыток связать причину вулканизма с радиоактивным теплом недр Земли. В районах вулканизма нет гелиевого дыхания, а где оно есть (районы распространения углеводородов), нет вулканов. Делается вывод о незначительной доли радиоактивного тепла в общем тепловом балансе недр земного шара.

О тепле солнечного происхождения в неорганическом веществе земной коры говорили Н.В.Белов и В.И.Лебедев [3], а в органическом - С.М.Григорьев [17]. Н.В.Белов и В.И.Лебедев развивали представление о поглощении солнечной энергии продуктами выветривания, которая затем освобождается в глубинах Земли при метаморфизме осадочных пород. Указывается, что фактором, определяющим течение реакций в зоне гипергенеза и литогенеза является солнечная радиация. Реакции минералообразования в этих зонах преимущественно эндотермические, т.е. идут с поглощением тепла. В глубинных зонах метаморфизма развиваются экзотермические реакции, сопровождающиеся освобождением энергии. Показано это на примере перехода алюминия при минеральных превращениях из одной координации в другую. Многие минералы зоны гипергенеза характеризуются нахождением алюминия в шестерной координации (каолинит и др.), а в минералах зоны метаморфизма алюминий имеет преимущественно четвертную координацию. Тепловой эффект при переходе алюминия из шестерной координации в четвертную может быть настолько значительным, что в состоянии вызывать не только метаморфизм, но и плавление с образованием основных, кислых и щелочных магм.

При выявлении источника энергии для метаморфизма и плавления осадочных пород нельзя забывать и об органическом веществе осадков. Как ни странным может показаться для конца XX века, появляются данные о возможности образования магмы путем расплавления осадочных пород в близповерхностных условиях за

счет сгорания (окисления) в них битумов. Происходит возрождение представлений древних греков и римлян (см. главу I).

На современном этапе такое явление принято называть метаморфизмом горения (combustion metamorphism). Агентом метаморфизма горения является тепло, создаваемое окислением органического вещества осадочных пород и частично сульфидов. Течение такого процесса требует проникновения атмосферного кислорода в пороцы по трещинам, что возможно до глубин первых сотен метров при расчлененном рельефе. Температура, возникающая при метаморфизме горения, бывает достаточно высокой, чтобы вызвать частичное или даже полное плавление осадочных пород. По сообщениям И.К.Бентора и др. [73], такие расплавы Фермор в 1918 году называл "пара-лавами", Джонсон и Букнел в 1959 году применяли для остывших стекловатых образований термин "псевдоизверженные породы". Породы, возникшие в результате метаморфизма горения, известны в Индии, США, Иране, Иордании, Израиле, Чехословакии, Англии, Новой Зеландии, Австралии и других странах. Они образуют тела площадью от 50 км<sup>2</sup> до 500 000 км<sup>2</sup>.

Современные проявления метаморфизма горения наблюдались в Англии (берег Дорсет) в 1829 году и в 1973-74 годах. В Канаде на северном берегу залива Франклина восточнее дельты р.Макензи известны "Курящиеся холмы". Они курятся по меньшей мере 150 лет. За последние 15 000 лет метаморфизм горения в "Горячих горах" Нового Южного Уэльса Австралии создал месторождения муллита и галлуазита.

Проявление активного метаморфизма горения, правда без расплавления осадочных пород, можно наблюдать и на территории СССР. Это, например, гора Янгантау высотой 160 м вблизи г. Уфы. Ее называют иногда уральским "вулканом". Она представляет собой участок плоского коренного берега р.Крюзани. Сложена гора битуминозными мергелями нижнепермского возраста со средним содержанием органического вещества в них 4,3%. Из трещин в горе Янгантау выделяются водяные пары и сухие газы с температурой 40-120°C, на базе которых работает санаторий.

Естественно, что первоначально с позиции современной геологии с ее первичностью магматических пород и формированием гидротерм за счет летучих остывающей магмы, под горой Янгантау

предполагалось остывающее магматическое тело, поставляющее термальные воды и газы [72]. Проведенными буровыми работами в скважинах был установлен постепенный рост температур до 400°C (скв. 5-У на глубине 80 м). Однако при достижении уровня р. Юрюзани был встречен горизонт холодных слабоминерализованных вод. Тем самым было установлено, что тепловая аномалия горы Янгантау образовалась в полосе низких температур и давлений в результате экзотермических реакций окисления органического вещества горных пород. Как указывает Г.Ф.Пилипенко, "постоянный приток воздуха к очагам окисления обуславливает возникновение в зоне аномальных температур своеобразных воздушных депрессионных воронок, образующихся за счет восходящих конвективных потоков горячих струй газа... Воздух, очевидно, всасывается по всей площади южного и юго-восточного склона горы" [52, с. 306]. Образование паровых газовых струй связывается с проникновением в породы инфильтрационных атмосферных вод; состав конденсата пара обусловлен составом метеорных вод и вмещающих горных пород. Не исключено, что в этом районе могут быть тела стекловатых пород, возникших при расплавлении осадочных пород за счет метаморфизма горения.

Наиболее впечатляющие современные проявления метаморфизма горения до полного расплавления вмещающих пород известны в Калифорнии. Они приурочены к площадям развития битуминозных пород кремнистой формации Метерей среднемиоценового возраста. С XVIII века "сольфатары", "огненные факелы" и "вулканы" в Калифорнии часто описывались путешественниками в основном в провинциях Вентура-Санта-Барбара и Санта-Мария. Эти явления интерпретировались как проявления вулканизма.

Из районов древних проявлений метаморфизма горения Калифорнии изучены породы, образовавшиеся за счет разогрева богатых органическим веществом осадков путем самовозгорания его в близповерхностных условиях. Исходные породы представлены в основном битуминозными аргиллитами с подчиненным количеством диатомитов, фосфоритов и доломитов. Выделены четыре типа пород, подвергшихся метаморфизму горения [73].

I. Термально метаморфизованные породы, которые содержат кристаллобласты, но не расплавлены.

2. Стекла, близкие к обсидиану и образовавшиеся при частичном (5%) плавлении. В сравнении с материнскими породами эти стекла обогащены кремнеземом,  $H_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ , а также танталом, гафнием, цирконием, торием и редкими землями. Стекла по химическому составу аналогичны гранитам S-типа (табл. 3) и отличаются от них только изотопным составом кислорода, подобным таковому материнских осадочных пород. Экспериментально установлено, что плавление исходных пород начинается ниже  $1000^{\circ}C$ . Продукты остывания таких расплавов фиксируются в виде стекловатых (типа обсидиана) даек и силлов во вмещающих породах.

3. Кристаллические силикатные и фосфатные породы, которые встречаются в виде штоков до нескольких километров в поперечнике. Для образования их плавилось 30-50% объема породы при температуре свыше  $1650^{\circ}C$ . Охлаждение расплавов приводило к образованию тонкозернистых полнокристаллических пород, сложенных кристаболитом,  $\alpha$  и  $\beta$ -тридимитом, Са-плагиоклазом, кордиеритом, волластонитом, геленитом, андрацитом и апатитом.

4. Реликты неметаморфизованных материнских пород (останцы в расплавах).

Изучая процессы газового дыхания Земли на примере распределения концентраций гелия в подземных водах (гелиометрии), Э.В.Бородзич и др. пришли к выводу о практической неисчерпаемости в земной коре ресурсов горючих газов и гелия и "что на глубинах свыше 5 км коллектором газов становится вся вмещающая геологическая среда" [4, с. 27]. При межпластовом вертикальном переносе флюида, насыщенного углеводородными газами, в литосфере образуются аномалии высокого и сверхвысокого давления. При вскрытии их буровыми скважинами возникают рукотворные газогрязевые вулканы - аварийные выбросы. Они мало чем отличаются от природных грязевых вулканов. Различие же в интенсивности проявлений этих двух явлений объясняется тем, что глубина корней грязевого вулкана достигает 12-16 км, а глубины скважин при аварийных выбросах 3-5 км.

Э.В.Бородзич и др. обращают внимание на рост интенсивности разгрузки очага избыточного давления с глубиной. Не менее важной, по их мнению, является степень закрытости системы, т. е. экранирование ее непроницаемыми породами. Отсюда рост из-

быточного давления становится функцией глубины и экранирования геологической системы. "Но в таком случае в общий ряд отмеченной последовательности разгрузки очага избыточного давления следует поставить не только грязевый, но и "обычный" вулканизм с его промежуточной газопаровой (фреатической) фазой и самыми мощными термическими формами "продувки" взрывов и "палящих туч"!" [4, с. 24].

В выявлении вопроса о возможном участии солнечной энергии в жизни литосферы земного шара делаются еще первые шаги и результаты исследований могут быть самыми неожиданными. Например, своеобразный способ использования поступающей на Землю солнечной радиации в глубинных частях нашей планеты предложен А. Комаровым [28]. Им экспериментально установлено, что если вращать токопроводящий шар в электрическом поле, то в шаре возбуждается электричество. Применительно к земному шару по этому эксперименту может быть намечен следующий цикл процессов. Часть поступающей солнечной энергии расщепляет молекулы газов в верхних слоях атмосферы. Возникает неоднородное электрическое поле. Механическая энергия вращения Земли в электростатическом поле превращается в электрическую. Электрический ток, идущий по планете, выделяет тепло. "До сих пор окончательно не определено, откуда черпается энергия таких чудовищных катаклизмов природы, как землетрясения и извержения вулканов. Земные породы не являются сверхпроводящими. Протекание тока по проводнику даже с минимальным сопротивлением сопровождается выделением тепла. Ориентировочный расчет сейсмической и вулканической деятельности не исключает того, что эти процессы обусловлены электрической энергией, т.е. по сути, являются продуктами солнечной радиации. Можно предположить, что вулкан - это природная электрическая печь, работающая на постоянном токе архигромной величины. Землетрясения - есть следствие подземной электрической молнии с потенциалом несколько миллионов вольт, который накапливается в складках пород" [28, с. 33]. Становится объяснимой грозовая активность, сопровождающая извержения вулканов. Пепел и более крупные обломки, вылетающие из кратера, оказываются заряженными, что и создает непрерывный каскад молний.

Весьма оригинальным дано объяснение причин вулканизма М. Косминд-Юшенко [29]. Сначала им указывается на открытость вопроса в науке о причинах вулканических явлений. Затем перечисляются факты, не увязывающиеся с господствующей гипотезой, связывающей, по его мнению, вулканизм с огненным ядром, выпирающим наружу через кратерные отверстия, вследствие сжатия охлаждающейся земной коры.

1. Встречающиеся в лавах обуглившиеся остатки вымерших зверей, рыб и моллюсков свидетельствуют о том, что во всех извержениях лава является по своему химическому составу продуктом поверхностных слоев Земли (почвы по М.Косминд-Юшенко).

2. Отсутствие всякой согласованности в извержениях двух близлежащих кратеров. В качестве доказательства этого приводится выдержка из труда Элизы Раклю "Подземные силы". "Вулканы, лежащие весьма близко друг от друга, не представляют ни малейшего совпадения в своей деятельности: извержения их происходят в разное время; выбрасываемые ими лавы различаются и наружным видом и минеральным составом; очевидно, этого не могло бы быть, если бы кратеры их питались из одного и того же источника... Вулканические жерла не являются предохранительными клапанами, так как на одной и той же горе могут быть два центра вулканической деятельности, между извержениями которых нет ни малейшей связи".

3. Вулканические взрывы вызываются напряжением сил, находящихся в поверхностных слоях почвы. Подтверждение этому М. Косминд-Юшенко видит в работе гейзеров, которые им относятся к проявлениям вулканизма. Указывается, что деятельность гейзеров обычно объясняется внутрипланетным теплом. Однако, ссылаясь на труд В.Меера (Вся природа, с. 159), приводится такой факт: если бросить в жерловину гейзера кусок мыла, тотчас досрочно начнется извержение. Стало быть, "напряжение сил имеет место на самой поверхности гейзера" [29, с. 4]. Сразу же далее приводится мнение геолога Эмиля Клуге о причинах вулканизма. "Эти пожары простые следствия химических реакций представляются чисто поверхностными явлениями нашей планеты и, следовательно, не в пучинах огненного моря, а самое большее на глубине 10-15 км следует искать очаги, в которых вырабатыва-

ются расплавленные массы..."

На основании вышеизложенного, причину вулканизма М.Косминд-Юшенко видит не в огненно-жидкой оболочке нашей планеты, а в солнечной лучистой энергии, которая накапливается в чаше кратера, приводя к плавлению горных пород в непосредственной близости от дневной поверхности. Объяснение этому явлению, естественно, дается не совсем научно обоснованное, так как плавление горных пород в кратере на глубине десятков или сотен метров просто невозможно. В заключение своей работы, опубликованной как издание автора, М.Косминд-Юшенко говорит о возможности техники его времени на практике ликвидировать угрожающих людям вулканы и о реальной возможности создания искусственных очагов лавы - солнечных аккумуляторов для промышленности.

Заканчивая рассмотрение возможности объяснения причин вулканизма плавлением погружившихся осадочных пород, можно отметить, что в отличие от безуспешных попыток доказательства подъема магм из глубин верхней мантии, такой подход позволяет ответить на все кардинальные вопросы этой проблемы. Таких кардинальных вопроса два: источник вещества и источник энергии. Источником вещества при вулканизме служат метаморфизующиеся породы. Вулканизм в этом случае заканчивает длительную цепь геологических процессов - от накопления осадков, их последующего преобразования до метаморфизма включительно. Как отмечает Г.Винклер, "не существует перерыва во времени, а имеется только длительный постепенный переход от осадков до пород с высокой степенью метаморфизма" [8, с. 19]. Если идет осадконакопление, то оно при благоприятных условиях неминуемо приводит к метаморфизму ранее накопленных и погружившихся осадков. Ультраметаморфизм глубинных зон может проявиться в гранитизации или анатексисе. При гранитизации происходит "отжатие"  $Fe^{2+}$ , Mg, Ca и других элементов, которые на длительном пути поднятия вверх, взаимодействуя с вмещающими породами и подземными водами, окисляясь и разогреваясь, постепенно сформируют базальтовую магму - траппы материков и базальтовые поля океанов.

При начавшемся анатексисе будут выплавляться расплавы

сначала кислого состава, затем - основного, формируя липаритовую и андезитово-базальтовую формации вулканических поясов типа Курильского [21], мезозойских восточной окраины материка Евразии, палеозойских Казахстана. Остаточными при анатексисе будут минеральные новообразования ультраосновного состава, как наиболее тугоплавкие. Они образуют в основных эффузивах ультраосновные ксенолиты. Агрегаты ультраосновного состава следует рассматривать не начальным (исходным), а конечным (финальным) материалом при выплавке базальтовой магмы.

Объясняя вулканизм отжатием излишнего вещества метаморфизующихся на глубине первично осадочных пород, мы тем самым приходим к выводу о первичности осадочных пород и вторичности магматических. Действительно, из осадочных пород путем их метаморфизма до гранитов можно получить базальт. Из базальта ни осадочных пород, ни гранита не получишь.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
осадочная порода (2 массы)	116,22	30,80	13,40	4,88	6,20	2,60	6,48	
-								
гранит (1 масса)	71,00	14,30	1,54	1,58	0,74	1,82	3,62	4,02
=								
остаток (1 масса)	45,22	16,50	10,01	4,14	4,48	-1,02	2,46	
базальт	50,00	16,48	4,22	6,80	6,30	9,75	2,78	1,24

Видна близость химических составов остатка и базальта. Недостающие в остатке MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O поступают в базальт из глубинных минерализованных подземных вод, содержащихся в осадочных породах. Химический состав осадочных пород правильнее вычислять с учетом содержащихся в них подземных вод. Необходимо отметить, что о привносе при метаморфизме каких-либо элементов говорить не приходится. Происходит вынос окислов железа, магния, кальция, алюминия в количествах больших среднего их содержания в исходных осадочных породах. Кремнезем же и окислы щелочей выносятся в количествах меньших среднего их

содержания в осадочных породах, создавая впечатление привноса последних в гранитизированные породы. Выносятся также в громадных количествах вода, хлористые, сернистые и другие соединения.

Весь процесс формирования планеты видится в накоплении на ее поверхности осадков, которые, перекрываясь вновь отложенными осадками, метаморфизуются с отщачей лишнего материала из возникающих более плотных пород в виде проявления вулканизма.

Такая гипотеза образования Земли (без указания на вулканизм) уже существует и принята на вооружение естествознанием. Это гипотеза О.Ю.Шмидта [71] об образовании Земли путем аккреции холодного обломочного космического материала. Только у геологов она не нашла необходимой поддержки. Это и понятно. Главным геологическим следствием гипотезы О.Ю.Шмидта является первичность осадочных и вторичность магматических пород. Геология наших дней, как начавшая формироваться около 150 лет тому назад в период господства гипотезы Канта-Лапласа, основана на аксиоме первичности магматических и вторичности осадочных пород. И компромиссов между геологическими интерпретациями этих двух альтернативных гипотез быть не может. Вот где лежат корни неспособности плутонистов объяснить причины вулканизма подъемом готовых первичных расплавов из глубин земного шара. Предстоит коренная ломка многих геологических представлений и, прежде всего, определения науки "геология". Пока ее считают наукой о земной коре. Но что такое земная кора? Ранее это была тонкая остывшая корка на первично расплавленном материале земного шара. Теперь понятие "земная кора" имеет геофизическое содержание без информации о вещественном составе ее. С позиции гипотезы О.Ю.Шмидта геологию следует рассматривать наукой о накоплении и превращении осадков в различные горные породы, цикличном преобразовании горных пород. Они и составляют объект науки геологии. Об этом еще 150 лет назад говорил Ч.Лайель [34, с. 5]. В этом случае можно и нужно говорить о круговороте вещества и энергии в литосфере, чего пока в геологии не делается.

Из гипотезы образования Земли по О.Ю.Шмидту вытекает, что

гидросфера и атмосфера в их современном составе формировались параллельно с ростом твердой оболочки нашей планеты [69]. Поступавший холодный обломочный космический материал в условиях окислительной атмосферы и гидросферы изменялся (выветривался), образуя в понижениях рельефа осадочные породы, которые с "захваченной" солнечной энергией [3] перекрывались новыми слоями осадков. В процессе метаморфизма погружавшихся осадочных пород поглощенная ими солнечная энергия, аккумулированная в виде свободной поверхностной энергии тонкодисперсных продуктов выветривания, органического вещества и др., освобождалась при кристаллизации, обеспечивая энергией возникающую магму и создавая геотермический градиент земного шара. Он, поэтому, более высокий в областях развития мощных осадочных толщ и более низкий для районов, сложенных глубоко метаморфизованными породами, где большая часть захороненной солнечной энергии уже израсходована. Часть же солнечной энергии поглощалась глубинным веществом недр земного шара, которое по мере погружения из-за возрастающего литостатического давления делалось все более плотным, с увеличением плотности вещества растет его теплоемкость. Стало быть недра Земли поглощают, а не отдают тепло.

Представление о вулканизме как подъеме отжатого вещества и энергии при метаморфизме осадочных пород (вспомним высказывание М.В. Ломоносова: "Огнедышущие горы... показывают излишество материи, которое, подобно внутренней болезни, выходя наружу, движет и надувает приближенные части" [39, с. 52] или плавлении метаморфических пород включает в себя основные положения ранее высказанных взглядов на экзогенную (от древних греков до непунистов) и эндогенную (образование расплава плутонистов) природу вулканической деятельности, т.е. не противоречит принципу соответствия, обязательному условию любой научной гипотезы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В истории взглядов на причины вулканизма в соответствии с господствовавшими космогеническими воззрениями о происхождении и внутреннем строении земного шара выделяются три крупных периода.

В первый период, охватывающий время от древнегреческой цивилизации до начала XIX века нашей эры, т.е. продолжавшийся более двух тысяч лет, вулканизм объяснялся горением в близповерхностных пустотах серы, битумов и других горючих веществ. Главной действующей силой, непосредственно производящей извержения, считались пары воды, возникающие при просачивании морских вод вглубь земного шара. Именно в это время возникли такие широко используемые и сегодня термины как вулканический пепел, вулканический шлак, вулканический очаг, потухший вулкан и другие.

Накапливавшиеся при проходке глубоких шахт сведения о повышении температуры по мере углубления в недра Земли постепенно в XVI-XVIII веках привели к представлениям о наличии в центре нашей планеты глубинного подземного тепла. Развитие астрономии и установление раскаленного газового состояния Солнца позволило Р.Декарту в XVII веке высказать предположение об однотипности происхождения Земли и Солнца. Об этом же свидетельствовали шарообразные формы этих небесных тел. Из-за малых размеров Земля остыла быстрее Солнца, поэтому она твердая снаружи, а ядро ее раскалено. Оно и является причиной глубинного подземного тепла. Следовательно, чем глубже погружаться в недра земного шара, тем более интенсивнее будет возрастать их температура.

К началу XIX века такие воззрения на развитие и глубинное строение Земли оформились в гипотезу Канта-Лапласа о первоначально огненно-жидком состоянии нашей планеты. Сверху планета покрыта тонкой остывшей коркой (земной корой), ниже которой находится первичный расплав. По плотности вещество земного шара дифференцировано на оболочки различного химического состава. Земную кору слагают самые легкие химические

соединения — сиалическая оболочка. Под ней находится более тяжелый расплав базальтового состава (хотя в нем, между прочим, алюминия больше, чем в граните, который отнесен к сиалу), а к центру опустились тяжелые железо и никель, сформировав ядро.

Вулканизм объяснялся просто: поднятием первичного расплава через земную кору на ее поверхность. Это время второго периода в истории взглядов на причины вулканизма. Для большинства вулканологов оно продолжается по настоящее время. По сложившейся традиции базальтовый расплав брали из земных недр в готовом (извечно существовавшем) виде. Трудности возникли с объяснением механизма поднятия его на дневную поверхность. Расплав тяжелее вещества сиалической коры и сам подняться вверх не может. Пока предпринимались попытки объяснения такого механизма, появившаяся сейсмология показала отсутствие расплавленной оболочки внутри нашей планеты. Сохранив представления о первично расплавленном состоянии земного шара, химической дифференциации его вещества на оболочки, стали считать Землю сильно охладившейся. Некогда расплавленная базальтовая оболочка под сиалической получила название базальтового слоя. Вместе они объединены в земную кору, ниже которой находится также твердая перидотитовая часть мантии.

Базальтовый расплав для извержений вулканов начали получать из твердого базальтового слоя, вещество которого хотя и высоконагрето, но большое давление не позволяет ему перейти в расплавленное состояние. Если же понизить давление, например вокруг трещины при землетрясении, то возникнет расплав, который по этой же ослабленной зоне поднимется на дневную поверхность к области меньшего давления. Более детальное рассмотрение такого механизма формирования базальтового расплава привело ко многим неразрешимым с научных позиций положениям. Прежде всего громадное давление, не позволяющее нагретому веществу базальтового слоя перейти в расплавленное состояние, как показал в начале XX века Н.Л.Боуэн, является литостатическим, т.е. вызвано нагрузкой вышележащих толщ горных пород. Разницы в том, будет ли на материал базальтового слоя давить одна глыба горных пород или две, разделенных трещиной, нет;

масса вышележащих пород останется той же. Для уменьшения давления необходимо резко убрать многокилометровую толщу перекрывающих горных пород. Но и в этом случае, как отметил тот же Н.Л.Боуэн, базальта из базальтового слоя не получишь. В этом случае не будет происходить мгновенного полного расплавления вещества базальтового слоя, а начнется выплавление более кислого материала.

Тогда расплав базальтового состава было предложено получать из перидотитового материала верхней мантии. Об ультраосновном составе ее как будто бы свидетельствовали ксенолиты такого же состава в излившихся базальтах. Однако в начале 70<sup>х</sup> годов нашего столетия детальные геохимические исследования А.Е.Рингвуда показали, что из перидотита нельзя выплавить базальтового расплава, потому что "большая часть перидотитов дополнительна, комплементарна по отношению к базальтовым магмам, а не представляет первичное для них вещество" [54, с. 14]. Пришлось допустить существование под перидотитовой верхней мантией гипотетического пиролита - пироксен-оливиновой породы, способной при частичном плавлении образовать базальтовую магму. Между тем трудности от такого допущения в объяснении механизма формирования расплава основного состава не только не уменьшились, а наоборот увеличились. Прежде всего, чем глубже опускается область генерации расплава (под материками верхняя граница пиролита подразумевается на глубинах 100-200 км), тем нереальнее делается сама возможность выплавки, допустимая при снятии давления. Затем, если перидотит образуется из пиролита при выплавки сравнительно легкого базальтового расплава, то перидотит должен быть тяжелее пиролита и не может лежать выше его. И наконец, если даже допустить возможность образования на таких глубинах расплава, то при подъеме в результате прогрессирующей потери газов он быстро охладится. Следовательно, нужно постоянно этот расплав подогревать.

Анализ представлений на причины вулканизма как результат поднятия неостывшего материала глубин Земли, по нашему мнению, свидетельствует о том, что эти воззрения не могут объяснить природы вулканической деятельности и являются тупиковой ветвью развития вулканологической мысли. Главная причина их неу-

дач кроется в принятии первично огненно-жидкого состояния Земли, разделении земного шара по этой причине на оболочки различного химического состава, оперировании первичной базальтовой магмой, состав которой от момента зарождения до затвердевания на земной поверхности сохраняется неизменным. Между тем, геологические процессы, как и большинство природных, относятся к необратимым. По конечным результатам их или конечным веществам нельзя судить о начальном состоянии процесса или составе вещества. Кроме того, вулканизм является лишь одним из многих геологических процессов, и отрывать его от общей цепи геологических процессов методологически недопустимо.

Плутоническое объяснение вулканизма как результата дегазации мантии с поднятием первичной базальтовой магмы находится в противоречии с имеющимися геологическими фактами, законами химии и физики. В этом случае, согласно закону химии о сохранении атомов при химических реакциях, состав земной коры, как состоящей из продуктов разрушения поднятого из мантии базальта, должен быть базальтовым. Но химический состав осадочной оболочки и особенно гранитного слоя резко отличен от базальтового. Следовательно, фактических данных о влиянии на состав осадочной и гранитной оболочек базальтовой магмы нет. Более того, процесс поднятия из мантии первичной основной магмы вообще не происходит, ибо в противном случае состав осадочной оболочки был бы не средним, а основным; граниты отсутствовали бы.

В то же время химия не только не запрещает, а наоборот, обязывает образование основной магмы при переходе вещества среднего состава погружающихся осадочных пород в гнейсы, гранито-гнейсы и граниты кислого состава. Обеднение погружающихся осадочных пород при их переходе в граниты окислами магния, железа, кальция не подтверждает возможности нахождения ниже гранитного слоя горных пород, богатых магнием, железом, кальцием, т.е. самого наличия базальтового слоя и ультраосновной мантии.

Современное представление о магме как источнике энергии вулканического процесса противоречит законам физики. С позиции физики магма не может быть источником энергии, кроме, ко-

нечно, момента остывания, а для своего образования и существования обязана поглощать энергию. Действительно, отсутствие сплошной первично расплавленной оболочки внутри земного шара требует для возникновения из твердого вещества более нагретого расплавленного затраты энергии. Возникшая магма, являясь охлаждающейся системой, при подъеме через более холодные горные породы кверху будет отдавать им свое тепло. От расширения и улетучивания газов, вызванных снижающимся литостатическим давлением, магма неминуемо сильно охладится и потеряет подвижность. Поэтому, для поднятия к земной поверхности, согласно законам физики, магме необходимо постоянное пополнение энергией и летучими веществами. Эти необходимые условия вулканического процесса удовлетворяются отдачей аккумулированной солнечной энергией тонкодисперсными продуктами выветривания при их превращении через осадочные горные породы, содержащие минерализованные подземные воды, в метаморфические кристаллические породы: гнейсы, граниты. Кристаллизация, как свидетельствует физическая химия, приводит к формированию веществ с меньшей энергией, чем в исходном некристаллическом веществе.

Смена тонкообломочного материала осадочной оболочки кристаллическими метаморфическими породами запрещает возможность поступления из недр земного шара тепла. Если бы подобный процесс действительно происходил, кристаллические сланцы, гнейсы и граниты на глубине под некристаллическими рыхлыми образованиями не могли существовать, превратясь в богатое энергией аморфное вещество или в жидкий высоконагретый раствор. Наблюдаемый с глубиной переход сланцев в более кристаллические гнейсы, а тех в крупнокристаллические граниты, т.е. в вещества со все меньшей энергией, однозначно свидетельствует об освобождении горных пород от энергии по мере метаморфизма.

Становится понятным, почему еще в конце XVIII века Дж. Геттоном было высказано положение о возможности и необходимости рассматривать вулканизм конечным этапом преобразования и расплавления погружающихся осадочных пород. Именно с этого времени начинается третий период в истории представлений о причинах вулканизма. Этот вывод был сделан Дж. Геттоном на основе изучения конкретных природных объектов. Он говорил о

круговороте вещества в общем геологическом процессе. К сожалению, развитие геологии пошло и продолжается до сих пор по другому, умозрительному (дедуктивному) пути, основанному на представлении о прохождении Землей стадии расплавления и дифференциации вещества земного шара на оболочки различного химического состава. Все же основные успехи геологии (по стратиграфии, метаморфизму, гидрогеологии и др.) получены не на этом пути.

Ч.Лайель — творец униформистской концепции, с которой собственно и началась геология как наука, объяснял вулканизм плавлением погружившихся осадочных пород. Велики перед геологией заслуги учения о геосинклиналях. Г.Э.Ог, разрабатывавший в начале XX века основные положения учения о геосинклиналях, вулканизм рассматривал конечным результатом преобразования погружающихся в геосинклинальный прогиб осадков.

Эти воззрения не затронули причин площадного базальтового вулканизма, который продолжался рассматриваться результатом подъема первичной магмы из глубин Земли. Дальнейшее развитие геологии не могло пройти мимо факта широкого представительства в земной коре метаморфических пород, наличие которых плутонистами сначала вообще отрицалось (кроме термометаморфитов), а затем не учитывалось в своих теоретических построениях. Плутонисты развивали и развивают идею об однонаправленном перемещении вещества в развитии Земли снизу (из глубинных недр) вверх. Региональный метаморфизм свидетельствует об общепланетарном противоположном перемещении вещества с дневной поверхности в глубинные части земного шара, о переходе развитых на поверхности осадочных горных пород с глубин 10–15 км в метаморфические горные породы. Литостатическое давление, вызывающее региональный метаморфизм, будет сохраняться глубже 10–15 км до сотен километров, поэтому до этих глубин могут быть развиты только метаморфические породы. Базальты, перидотиты, гипотетические пиролиты и другие магматические породы ниже регионально метаморфических пород существовать просто не могут. В этом отрыве от действительно наблюдаемых геологических фактов (постепенный переход аргиллитов в кристаллические сланцы, тех в гнейсы, а последних в граниты был известен

еще нептунистам XVIII века и полностью игнорировался плутонистами XIX и XX веков) и заключается умозрительность теоретических построений плутонистов.

Региональный метаморфизм ведет к уплотнению горных пород, что должно выразиться в образовании на дневной поверхности отрицательных форм рельефа - различных впадин. Из регионально метаморфизующихся пород отжимаются ионы с небольшим ионным радиусом:  $Fe^{2+}$ , Mg, Ca и другие, которые вместе с водой, кремнеземом и глиноземом, поднимаясь вверх, окисляясь и разогреваясь, формируют базальтовую магму. В этом случае находит объяснение приуроченность проявлений базальтового вулканизма к океаническим впадинам и синеклизам платформ. Освободившись от  $Fe^{2+}$ , Mg, Ca преобразующиеся горные породы приобретают кислый состав, чем и объясняется общепланетарное (пока достоверно установленное под материками) развитие с глубин 10-15 км гнейсов, гранито-гнейсов и гранитов. Очевидно, что богатых магнием, железом и кальцием горных пород (базальтов, перидотитов, пиролитов и им подобных) ниже гранитов ожидать не приходится.

Получается, что твердые осадочные породы среднего состава переходят в твердые гнейсы и граниты кислого состава, а содержащиеся в осадочных породах минерализованные подземные воды, обогащаясь отжатым веществом основного состава превращаются в базальтовую магму, которая как высоконагретая и разуплотненная большим количеством высвободившихся при метаморфизме газов делается легкой и по закону Архимеда поднимается вверх.

В случае рассмотрения вулканизма конечным этапом длительного процесса накопления осадков, их перехода в осадочные породы и последующего метаморфизма последних положительно решается вопрос энергии вулканической деятельности. Основу ее составляет солнечная энергия, захороненная в осадочных породах и освобожденная при их метаморфизме, выражающимся в кристаллизации тонкообломочных продуктов выветривания. При подъеме флюидной выжимки базальтового состава происходит ее частичное окисление и разогревание (дополнительное поступление опосредствованной солнечной энергии). Осуществляется круговорот вещества и энергии в литосфере.

Представления же плутонистов о росте температуры по мере погружения в недра Земли, свидетельствовавшим о раскаленности и первоначальной расплавленности ее, повлекшей к образованию сиалической, симатической, ультрабазитовой и других оболочек, не подтвердились. Геотермический градиент (в среднем  $3^{\circ}$  на 100 м) действительно существует. Но уже на первых километрах рост температуры недр нашей планеты замедляется, а он должен был бы наоборот возрастать. Никто не говорит о температуре  $3000^{\circ}\text{C}$  на глубине 100 км, потому что в этом случае внутренняя часть земного шара была бы жидкой. Максимальной на глубине 100 км допускают температуру  $1200^{\circ}\text{C}$ , что однозначно свидетельствует против положения первичной раскаленности нашей планеты, существенной роли в геологических процессах эндогенной энергии.

Таким образом, вулканизм можно определить как процесс удаления лишнего вещества и тепла из обогащенных солнечной энергией осадочных пород среднего состава при метаморфизме их в гнейсы и граниты кислого состава. При этом, происходит обогащение недр земного шара оксидами кремния, щелочей с формированием на поверхности базальтовой оболочки. В целом, наблюдается процесс поглощения Землей, как небесным телом, поступающего вещества и энергии (часть солнечной энергии аккумулируется глубинным веществом при увеличении его теплоемкости в результате перехода в более плотные модификации). Земля, можно сказать, имеет определенное сходство с "черной дырой". Разница между ними в том, что наша планета часть поступающей энергии и вещества не может удержать и возвращает в Космос. Если же по каким-либо причинам для небесного тела на стадии развития Земли создадутся условия разуплотнения, то накопленная энергия может выделяться. Крайним выражением этого процесса видится взрывоподобное освобождение энергии с разрушением верхней части планеты. Возникнут метеоритные облака преимущественно из базитового материала.

Рассмотрение единой цепи геологических процессов: выветривание  $\rightarrow$  литогенез  $\rightarrow$  метаморфизм  $\rightarrow$  магматизм, обязывает проанализировать следующий факт. Оказывается, плотность гранитов ( $\sim 2,6 \text{ г/см}^3$ ) значительно ниже плотности находящихся

выше кристаллических сланцев и гнейсов ( $\sim 3 \text{ г/см}^3$ ). Следовательно, известный на сегодня конечный продукт регионального метаморфизма осадочных пород с достаточным первоначальным содержанием воды - гранит является по сути метастабильным для глубинных условий недр литосферы веществом. В этом очередной раз проявилась "мудрость" природы, как и с водой на поверхности земного шара. Разуплотнение метаморфизующегося вещества при переходе в гранит и позволяет полнее выделяться содержащейся в нем солнечной энергии [3]. Такие аномальные вещества, вероятно, в большей степени, чем "правильные", определяют развитие Земли, хотя все применяющиеся в настоящее время термодинамические, физико-химические и др. расчеты не учитывают этих аномалий. Рассмотрим некоторые следствия из этого факта.

1. Региональный метаморфизм осадочных пород сопровождается сжатием, уплотнением их вещества, что в рельефе должно найти отражение в формировании отрицательных структур, дно которых может покрываться продуктом выжимки основного состава - базальтом. Но когда в результате продолжающегося метаморфизма начнут возникать граниты, объем вещества увеличится, и движение этого участка литосферы сменится на положительное, с возможным уничтожением верхней части разреза до вскрытия метаморфических пород.

2. Метастабильное, относительно разуплотненное состояние гранитов (участков или всего гранитного слоя) в условиях вращения Земли вокруг своей оси должно вызывать горизонтальное перемещение вещества, но более медленное, чем в гидросфере и тем более в атмосфере. Не здесь ли ответ на причины движения литосферных плит, наличия крупных надвигов, вихревых структур и т.п.? В этом случае очевидна возможность влияния горизонтальных перемещений вещества на усиление или замедление вертикальных движений.

3. Разуплотненное состояние гранитов в гравитационном поле Земли не может существовать длительное время. Фазовые переходы вещества в более плотное состояние должны отразиться в разного рода деформациях, вызывая землетрясения.

Автор, сам как геолог, воспитанный на геологических следствиях гипотезы Канта-Лапласа с их первичностью магматических и вторичностью осадочных пород, с учетом полученных многими

поколениями геологов фактов и логического их осмысливания вынужден принять основные геологические следствия гипотезы О.Ю. Шмидта об образовании Земли путем скопления холодного обломочного космического материала, заключающиеся в первичности осадочных и вторичности магматических горных пород. Думается, чем скорее это сделают большинство геологов, тем успешнее геология будет решать свои теоретические и практические задачи.

Рассмотренная история взглядов на природу вулканической деятельности показывает наличие и для вулканологии характерной для всех естественных наук общей тенденции в их развитии: преобладание дедуктивных положений в начале пути с постепенным переходом на индуктивную основу. Пока физика не взяла на вооружение эксперимент и фактические данные, никаких законов сформулировать было нельзя. Алхимия, постулируя возможность превращения неблагородных металлов в благородные с помощью воображаемого "философского камня", через многовековые опыты способствовала накоплению эмпирических данных, положивших начало химии. Подобное отмечается и в вулканологии, которая еще находится на дедуктивной основе. "Философским камнем" ее является библейское представление о возникновении сначала безжизненной Земли с последующим появлением воды и жизни.

Актуальным, поэтому, видится объяснение вулканизма удалением к поверхности излишков вещества и энергии при метаморфизме погружающихся в недра планеты продуктов выветривания, аккумуляровавших солнечную энергию. Время формирования нашей планеты видится на порядок или больше принимаемого сегодня, так как любой гранит, возраст древнейшего из которых принимается за возраст Земли, образовался за счет преобразования осадочной породы, а та в свою очередь возникла при разрушении других пород. Ведь никто не определяет возраст человека по возрасту составляющих его клеток - никому бы из людей не было и полгоца. Отсутствие эволюции минералов, слагающих горные породы, свидетельствует о "геологической вечности биосферы" в пределах известного нам геологического времени. В религиозных предпосылках отпадает всякая необходимость. Полное раскрепощение мышления от библейских догм даст новый мощный толчок дальнейшему развитию всего естествознания.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абих Г.В. Землетрясения в Шемахе и Эрзеруме в мае 1859 года.-Горн. ж., 1861, № 10, с. 102-120.
2. Батюшкова И.В. Внутреннее строение Земли. М., Наука, 1966, 194 с.
3. Белов Н.В., Лебедев В.И. Об источниках энергии геохимических процессов.-Природа, 1957, № 5, с. 11-20.
4. Бородзич Э.В., Еремеев А.Н., Яницкий И.Н. Газовое дыхание Земли.-Природа, 1983, № 2, с. 18-27.
5. Боуэн Н.Л. Эволюция изверженных пород. ОНТИ НКТП СССР, 1934, 324 с.
6. Вальтер И. Первые шаги в науке о Земле. Общедоступное введение и наставление к производству наблюдений. Петербург, Изд-во З.И.Гржебина, 1920, 146 с.
7. Верн Ж. Дети капитана Гранта. Владивосток, 1980, 352 с.
8. Винклер Г. Генезис метаморфических пород. М., Недра, 1979, 327 с.
9. Виноградов А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре.-Геохимия, 1956, № 1, с. 5-52.
10. Войткевич Г.В., Закрутин В.В. Основы геохимии. М., Высшая школа, 1976, 367 с.
11. Высоккий Б.П. Проблемы истории и методологии геологических наук. М., Недра, 1977, 280 с.
12. Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. М., Наука, 1978, 255 с.
13. Геофизика океана. Геодинамика. М., Наука, 1979, 416 с.
14. Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Общая геология. М., Изд-во МГУ, 1962, 565 с.
15. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М., Наука, 1967, 288 с.
16. Грейтон Л.К. Предположение о вулканическом тепле. М., Изд-во ИЛ, 1949, 166 с.
17. Григорьев С.М. О процессах образования и свойствах горючих ископаемых. М., Изд-во АН СССР, 1954, 412 с.

18. Гумбольдт А. Картины природы. М., Географиздат, 1959, 269 с.

19. Дейтерий и кислород-18 в подземных водах. М., Недра, 1973, 214 с. Авт.: Селецкий Ю.Б., Поляков В.А., Якубовский А.В., Исаев Н.В.

20. Дуничев В.М. О позднемиоцен-плиоцен-четвертичном вулканизме Курильской островной дуги.-ДАН СССР, 1972, т. 203, № 2, с. 127-134.

21. Дуничев В.М. Вулканизм Большой Курильской дуги. М., Недра, 1983, 120 с.

22. Дэли Р.А. Магматические горные породы и их происхождение. ч. II. М., Гостехиздат, 1920, 211 с.

23. Дэли Р.О. Изверженные породы и глубины Земли. ОНТИ НКТП СССР, 1936, 591 с.

24. Иностранцев А.А. Геология, т. I. Спб., 1905, 572 с.

25. История геологии. М., Наука, 1973, 388 с.

26. Йодер Г.С., Тилли К.Э. Происхождение базальтовых магм. М., Изд-во Мир, 1965, 248 с.

27. Каменский П.П. Три системы геологии.-Русский вестник, 1842, № 11-12, науки и художества, с. 1-52.

28. Комаров А. Предлагаю новую науку.-Изобретатель и рационализатор, 1982, № 10, с. 32-34.

29. Косминд-Юшенко М. Природа вулканизма. Новые мысли и представления. М., Издание автора, 1925, 14 с.

30. Котта Б. Геологические картины. Спб., 1859, 267 с.

31. Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. М.-Л., Изд-во Главсевморпути, 1948, 292 с.

32. Кун Н.А. Легенды и мифы древней Греции. М., Просвещение, 1975, 463 с.

33. Куторги С. Естественная история земной коры. Спб., 1858, 467 с.

34. Лайель Ч. Основания геологии или перемены, происшедшие некогда с землею и с ее обитателями. М., 1859, 96 с.

35. Лопадю-Арг П. О существовании и природе химического привноса в некоторых сериях кристаллических сланцев. В сб.: Проблема образования гранита (2-й сборник статей). М., Изд-во ИЛ, 1950, с. 51-107.

36. Ле Пишон К., Франшто Ж., Боннин Ж. Тектоника плит. М., Изд-во Мир, 1977, 288 с.
37. Лившиц М.Х. К вопросу о физическом состоянии глубинного вещества земной коры и верхней мантии в Прикурильской зоне Тихоокеанского кольца.-Геология и геофизика, 1965, № I, с. II-20.
38. Личков Б.Л. К основе современной теории Земли. Л., Изд-во ЛГУ, 1965, 119 с.
39. Ломоносов М.В. О слоях земных. М.-Л., Госгеолиздат, 1949, 211 с.
40. Лукашевич О. Неорганическая жизнь земли, часть I. С.-Петербург, 1908, 233 с.
41. Лукашевич Д. Неорганическая жизнь земли, часть 2: жизнь горных пород. С.-Петербург, 1909, 311 с.
42. Лукреций. О природе вещей, т. I. М., Изд-во АН СССР, 1946, 451 с.
43. Макаренко Г.Ф. Базальтовые поля Земли. М., Недра, 1978, 148 с.
44. Мияки Я. Основы геохимии. Л., Недра, 1969, 303 с.
45. Мушкетов Д.И. Краткий курс общей геологии. Л., ОНТИ, 1931, 431 с.
46. Неймаеир М. История Земли, т. I, Спб., 1897, 761 с.
47. Неймаеир М. Вулканы и землетрясения. Спб., 1902, 217 с.
48. Ниггли П. Магма и ее продукты. М.-Л., Госгеолиздат, 1946, 435 с.
49. Обуэн Ж. Геосинклинали (проблемы происхождения и развития). М., Изд-во Мир, 1967, 302 с.
50. Обручев В.А., Зотина М. Эдуард Зюсс. М., Журнально-газетное объединение, 1937 (Жизнь замечательных людей. I вып. (97), 233 с.
51. Ог Э. Геология, том первый, геологические явления. М., 1924, 564 с.
52. Пилипенко Г.Ф. Геотермический режим и ресурсы термальных вод горы Янгантау в Башкирии.-В кн.: Геотермические исследования и использование тепла Земли. М., Наука, 1966, с. 304-310.

53. Пискунов Б.Н. Вулканизм Большой Курильской гряды и петрология пород высокоглиноземистой серии. Новосибирск, Наука, 1975, 187 с.
54. Рингвуд А.Е. Состав и происхождение Земли. М., Наука, 1981, 113 с.
55. Ритман А. Вулканы и их деятельность. М., Изд-во Мир, 1964, 437 с.
56. Риччиарди Л. Вулканизм в мифологии и в науке (перевод с итальянского С.А.Веретенникова). Воронеж, 1915, 23 с.
57. Романова М.М. История представлений о происхождении гранитов. М., Наука, 1977, 188 с.
58. Рудник В.А. Гранитообразование и формирование земной коры в докембрии. Л., Недра, 1975, 415 с.
59. Рэдулеску Д.П. Вулканы сегодня и в геологическом прошлом. М., Недра, 1979, 255 с.
60. Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М., Наука, 1976, 239 с.
61. Сорохтин О.Г. Тектоника литосферных плит и природа геосинклинального магматизма.-В кн.: Вулканизм и геодинамика. М., Наука, 1977, с. 5-14.
62. Судовиков Н.Г. Региональный метаморфизм и некоторые проблемы петрологии. Л., Изд-во ЛГУ, 1964, 550 с.
63. Тиррель Г.В. Вулканы. ОНТИ НКТП СССР, 1934, 220 с.
64. Тихомиров В.В. Геология в России в первой половине XIX века. М., Изд-во АН СССР, 1963, 488 с.
65. Тихомиров В.В. Опыт анализа процесса развития геологии как науки.-Изв. АН СССР, сер. геол., 1970, № 4, с. 11-18.
66. Тихомиров В.В., Хаин В.Е. Краткий очерк истории геологии. М., Госгеолтехиздат, 1956, 260 с.
67. Усов П.С. Метаморфические горные породы и способ их происхождения.-Горный журнал, 1848, № 11-12, с. 243-368.
68. Федорченко В.И., Родионова Р.И. Ксенолиты в лавах Курильских островов. Новосибирск, Наука, 1975, 139 с.
69. Флоренский К.П. О начальном этапе дифференциации вещества Земли.-Геохимия, 1965, № 8, с. 909-917.
70. Шафрановский И.И. А.Г.Вернер. Знаменитый минералог и геолог. Л., Наука, 1963, 198 с.

71. Шмидт О.Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. М., Изд-во АН СССР, 1957, 140 с.

72. Штильмарк В.В. Экзогенная термальная аномалия горы Янгантау в Западном Приуралье.-В сб.: Проблемы гидрогеологии. М., Госгеолтехиздат, 1960, с. 310-314.

73. Bentor Y.K., Kastner M., Perlman I., Yellin Y. Combustion metamorphism of bituminous sediments and the formation of melts of granitic and sedimentary composition. *Geochim. et cosmochim. acta*, 1981, 45, N 11, p.2229-2255.

74. Beringer C.C. *Geschichte der Geologie und des geologischen Weltbild*. Stuttgart, 1954, 158 S.

75. Bischof G. On the Natural History of Volkanos and Earthquakes. *The Edinburgh new philosophical journal*. V. XXVI, 1839, p.25-81.

76. Clark F.W., Washington H.S. The composition of the Earth's Crust. U. S. Geol. Survey, Profes. Paper 127, Washington, 1924, 117 p.

77. Green W.Z. Vestiges of the Molten Globe as exhibited in the Figure of the Earth, Volcanic Action and Physiography. London, 1875, part 1, 59 p.

78. Nehring A. *Die geologischen Anschauunger des Philosophen Seneca Wolfenbüttel*, 1876, 25 S.

79. Rast H. *Vulkane und Vulkanismus*. Leipzig, 1980, 223 S.

80. Playfair I. *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*. Edinburgh, 1802, 528 p.

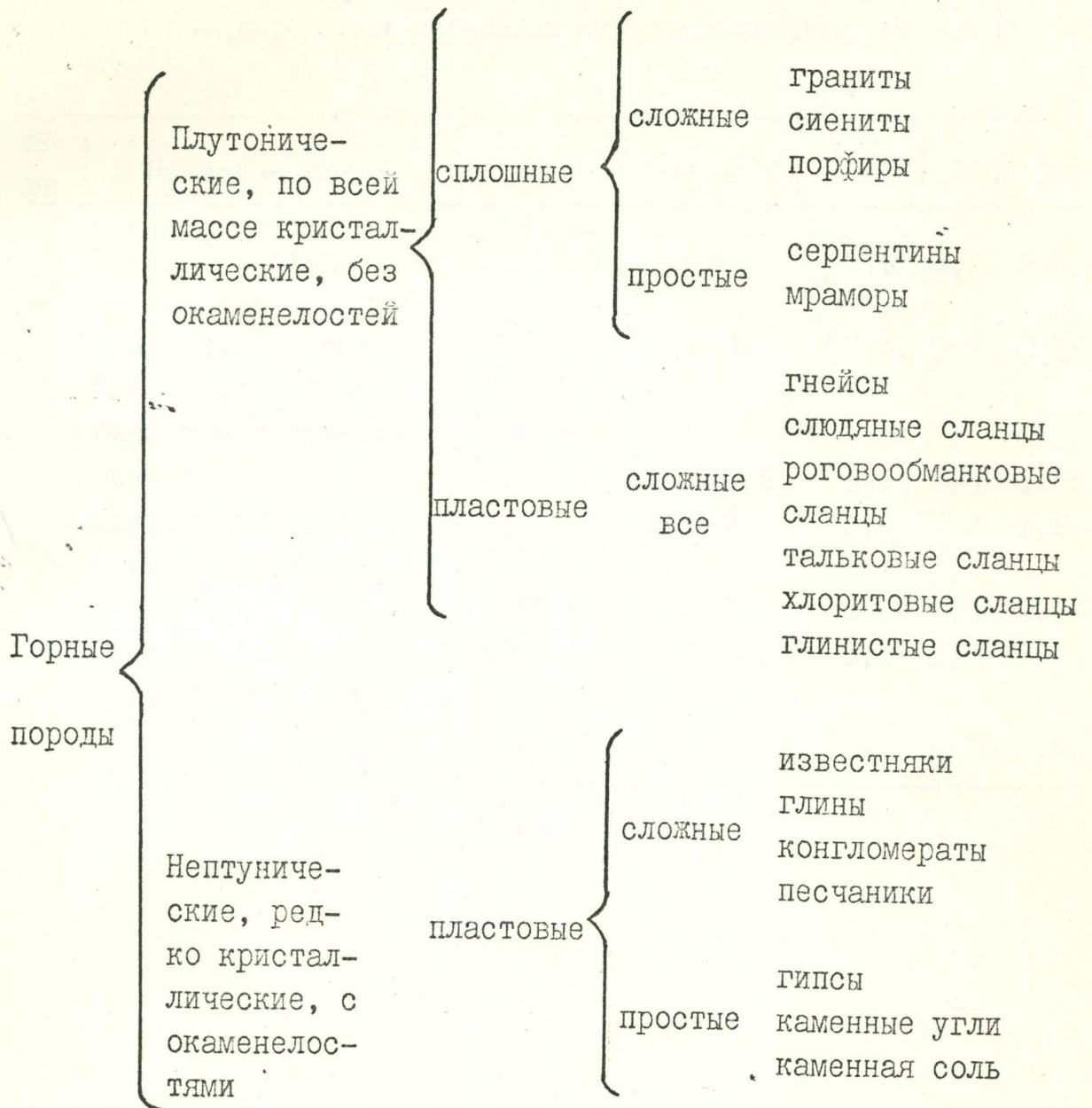
81. Suess E. *Das Antlitz der Erde*. Dritter Band. Zweite Hülfte. Wien, Leipzig, 1909, 789 S.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение .....	2
Глава I. Период объяснения причин вулканизма горением горючих веществ .....	4
1. Описание извержений вулканов в мифах и трудах древних греков и римлян .....	4
2. Представления о причинах вулканизма в средние века и период Возрождения .....	12
3. Представления о причинах вулканизма, высказанные в XVIII веке и в начале XIX века ..	15
Глава II. Период объяснения причин вулканизма поднятием неостывшего материала глубин Земли .....	38
1. Воззрения крайних плутонистов .....	39
2. Воззрения умеренных плутонистов .....	49
3. Возвращение к ортодоксальному плутонизму .....	68
4. Представления о причинах вулканизма с позиции тектоники плит .....	95
Глава III. Период объяснения причин вулканизма расплавлением или метаморфизмом осадочных горных пород	102
1. Представления Ч. Лайеля .....	103
2. Представления о причинах вулканизма в учении о геосинклиналях .....	106
3. Попытка объяснения площадного базальтового вулканизма метаморфизмом погружающихся осадочных пород .....	113
Заключение .....	135
Литература .....	145
Приложения .....	151-157

Таблица I

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С.КУТОРГИ [33]



Примечание:

Нептунические горные породы, в непосредственном прикосновении с огненными, вылившимися из раскаленной внутренности Земли, были прокалены их жаром и отчасти изменены в составе и строении; эти породы измененные или метаморфические.

Таблица 2

Изменение содержания окислов (в %) в породах, подвергшихся региональному метаморфизму по [35]

№№ ПП	Название пород	$Al_2O_3$	$Na_2O+K_2O$	MgO	FeO	CaO
I	Осадочные сланцы	11,5-18,5	мало	3,9	3,6	0,7
2	Серицитовые сланцы, мусковитовые сланцы	11-17,5	2,5-6	3,4	3,5	0,85
3	Слюдистые сланцы с биотитом и мускови- том	8-14,5	2,5-6,5	3,3	3,4	1,85
4	Двуслюдяные гнейсы	8-14	3,5-7	3,0	3,3	1,9
5	Гнейсы только с биотитом	7,5-11	5,5-8	1,6	1,8	2,0
6	Граниты	7,5-10	5,5	1,5	1,5	2,1
7	Гранулиты (аплиты и др.)	7,5-9,75	6,5-8,75	0,6	0,75	1,0

Таблица 3

Сравнение химического состава аргиллита  
и низкотемпературного стекла по [73]

Окислы	Аргиллит	Стекло	Соотношение <u>стекло</u> аргиллит
SiO <sub>2</sub>	57,62	75,24	1,31
TiO <sub>2</sub>	0,85	0,32	0,38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,97	12,43	0,89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,06	0,94	0,19
FeO	0,15	1,42	9,47
MnO	0,05	0,04	0,80
MgO	2,19	0,18	0,08
CaO	12,49	1,44	0,12
Na <sub>2</sub> O	2,31	2,39	1,03
K <sub>2</sub> O	1,77	4,34	2,45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,12	0,10	0,03

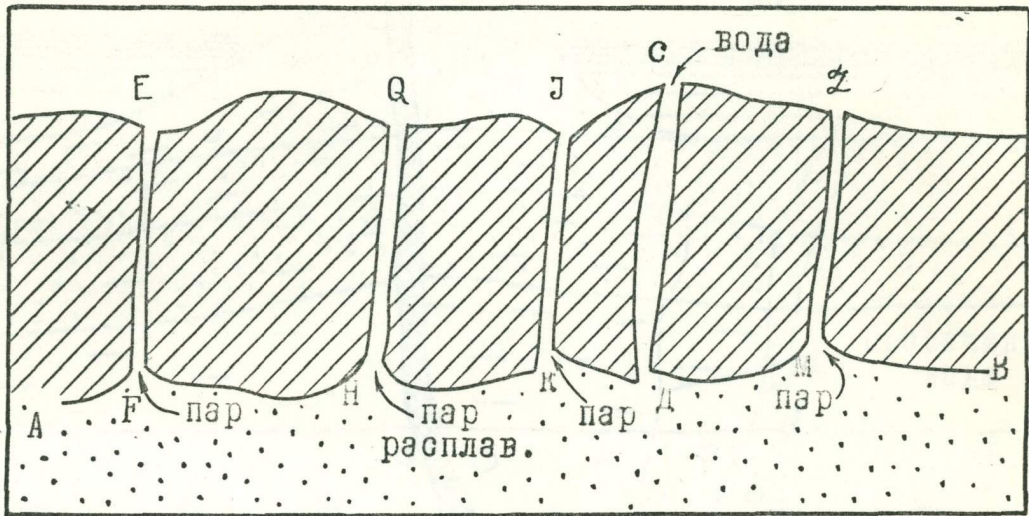


Рис. I . Схема поднятия лавы из расплавленных глубин Земли на поверхность по [75] .  
Объяснение в тексте

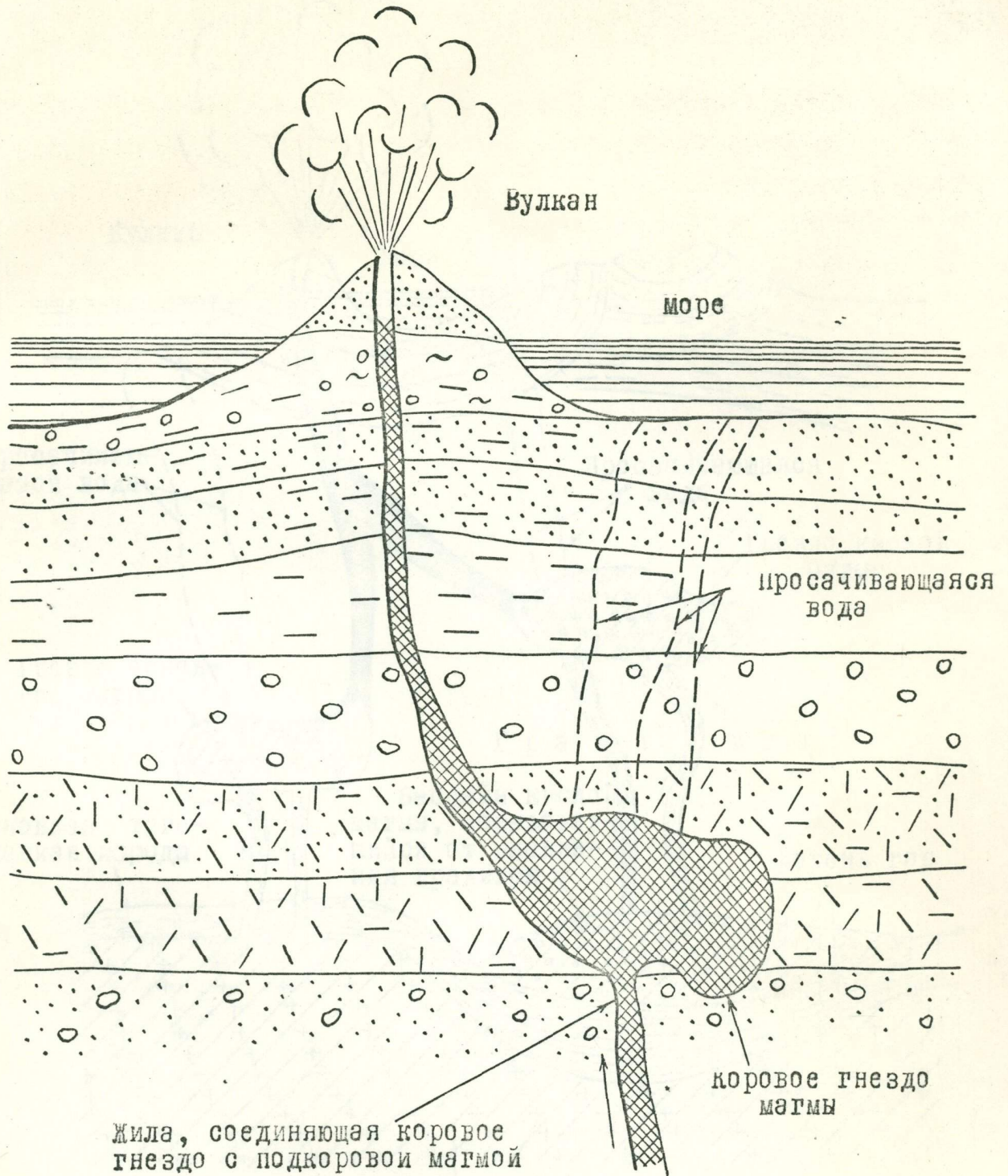


Рис. 2      Схема вулкана по [40]

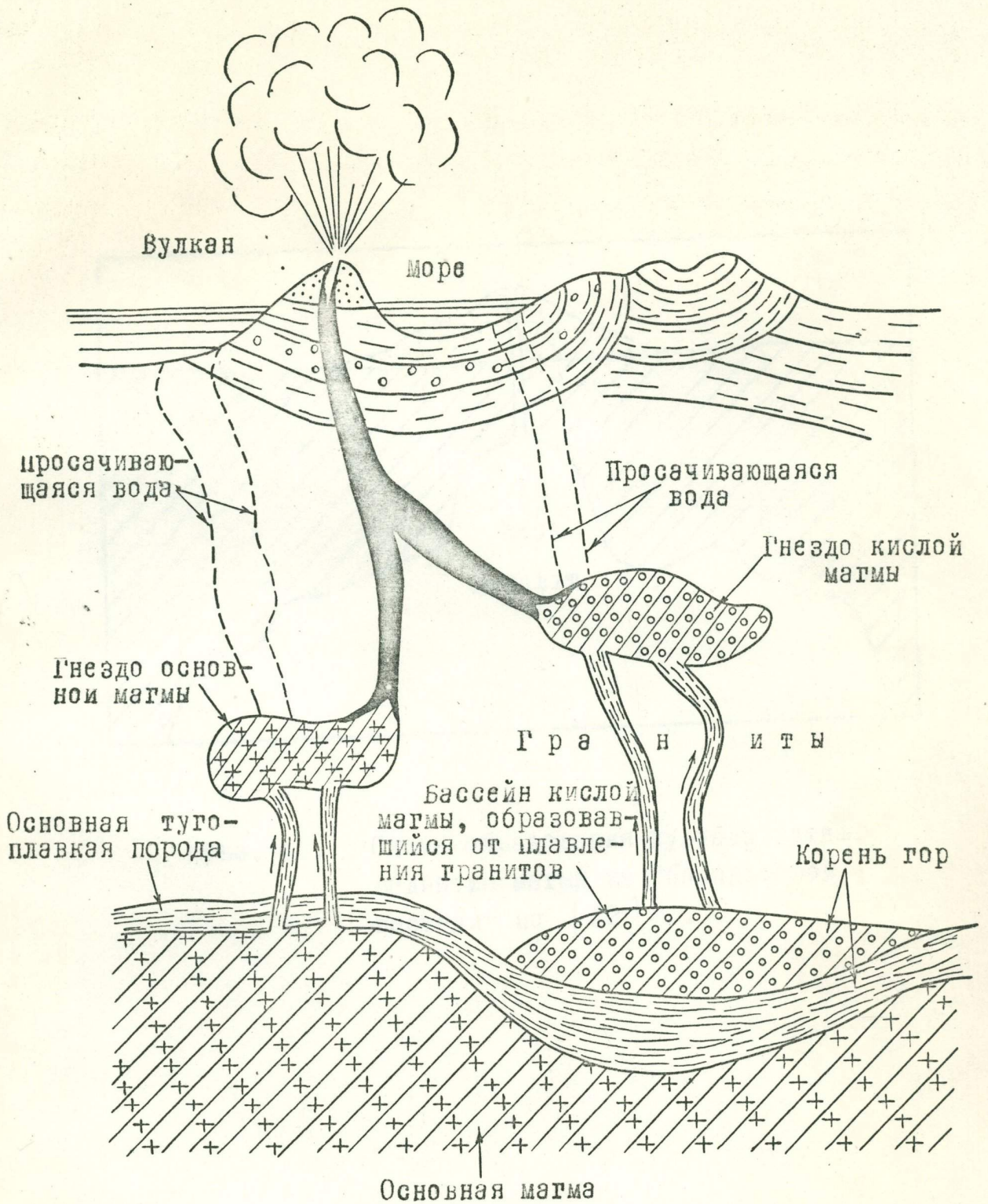


Рис.3 . Общая схема вулкана по [40] .

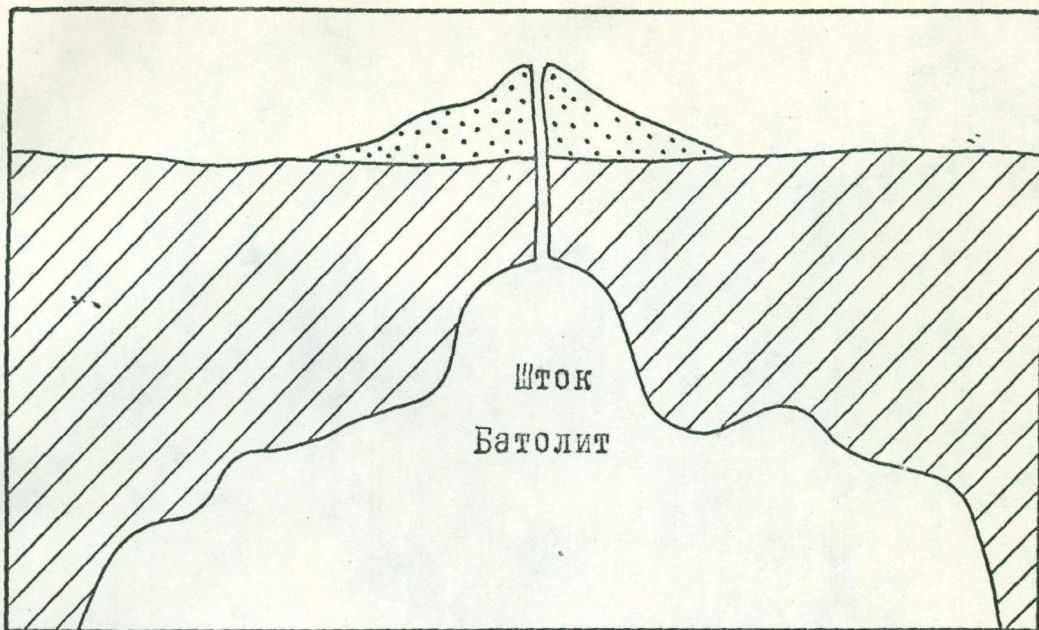


Рис. 4 . Схема образования вулкана путем поднятия магмы из "базальтовой постели" по [22] .

158

6170-85

Печатается в соответствии с решением Совета Южно-Са-  
халинского государственного педагогического института  
от 25 июня 1985 г.

В печать 16.10.85

Тир. 1

Цена 15 руб 80к

Зак. 16690

Производственно-издательский комбинат ВИНТИ  
Льберцы, Октябрьский пр., 403

4580