

Филантеская Зоологія.

Лекцій, читаных въ Берлинѣ

и изданныхъ въ 1907-1908 гг.

проф. Др. И. Богдановичемъ.

ПРЕДМЕТЪ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГІИ.

Подъ названіемъ динамической слѣдуетъ понимать отдѣлъ геологіи, имѣющій своимъ предметомъ изученіе явленій перемѣненія массы и вещества въ твердой земной корѣ, явленія перваго рода относятся къ категоріи физическихъ, второго - химическихъ. Динамическая геологія не представляетъ ученія о силахъ /агентахъ/, вызывающихъ тѣ или другія перемѣненія и въ конечномъ итогѣ измѣненія въ твердой земной корѣ или на ея поверхности, а имѣетъ своей задачей только объясненіе литогенетической /1/ роли этихъ силъ. Измѣненіе формъ земной поверхности должно разсматриваться въ динамической геологіи лишь по столько, по скольку это зависитъ отъ явленій новообразованія горныхъ породъ или перемѣненій частей земной коры.

Силы или агенты, опредѣляющіе развитіе /эволюцію/ земного шара, имѣютъ своимъ источникомъ или природу и качества самой нашей планеты - внутреннюю теплоту земного шара, или причины внѣ ея - солнечную энергію и силу тяжести. Первые называютъ эндогенными, а совокупность процессовъ, опредѣляемыхъ ими, внутренней геодинамикой; вторые называютъ экзогенными, и соотвѣтственно этому различаютъ внѣшнюю геодинамику.

Тепловая энергія, присущая самому тѣлу земли, опредѣляетъ разнообразныя явленія - вулканизма въ тѣсномъ смыслѣ, сейсмическія /землетрясенія/, горнообразованія, горячихъ источниковъ, метаморфизма. Совокупность всѣхъ этихъ явленій можно называть вулканизмомъ въ широкомъ смыслѣ, также процессами тектоническими. Совокупность экзогенныхъ явленій называютъ денудационными процессами. Первые стремятся создать неровности на поверхности земной коры, вторые имѣютъ стремленіе все нивелировать.

/1/ Литогенезисъ - возникновеніе горныхъ породъ.

В У Л К А Н И З М Ъ .

Введение.

Агрегатное состояние внутри земли.

Только что сдѣланное опредѣленіе вулканизма предполагаетъ присутствіе огненножидкой матеріи внутри земли. Съ непрерывнымъ процессомъ охлажденія тѣла земли и связывають всѣ разнообразія проявленія вулканизма въ широкомъ смыслѣ. Какія же основанія мы имѣемъ для такого болѣе или менѣе опредѣленнаго представленія о внутреннемъ состояніи земного шара? Припомнимъ, что глубочайшая буровая скважина имѣетъ всего 2003 м. т. е. составляетъ всего около $\frac{1}{3176}$ части земного радіуса.

На такую ничтожную величину простираются наши положительныя знанія о внутреннемъ состояніи земного тѣла. Слѣдовательно, всѣ наши заключенія хотя и основаны на положеніяхъ физики, химіи и астрономіи, но всѣ эти заключенія представляютъ лишь предположенія и гипотезы; такъ какъ всѣ эти заключенія основаны съ другой стороны на послѣдствіяхъ, что наблюдаемое увеличеніе теплоты продолжается и въ глубину земного шара.

Заключенія о внѣшней геодинамикѣ, денудационныхъ процессахъ опираются на болѣе прочно установленныя данныя.

Какъ бы кажутся намъ недоступными глубины нашей земли, но изслѣдованіе ихъ далеко не безнадежно. Вѣдь астрономы изслѣдовали недоступные намъ міры посредствомъ свѣтового луча; подобно этому же, мы можемъ постигнуть внутреннее состояніе земли посредствомъ изслѣдованія теплого луча, а въ послѣднее время къ этому прибавляется еще и изслѣдованіе состоянія упругости.

Удѣльный вѣсъ земного шара. Съ представленіемъ о внутреннемъ состояніи земли неразрывно связанъ и вопросъ объ удѣльномъ вѣсѣ тѣла земли. Мы знаемъ уже, что начиная съ первыхъ опытовъ надъ отклоненіемъ отвѣсной линіи, произведенныхъ Гиттономъ и Маскеленомъ на горѣ Сехеліэнь, до послѣднихъ изслѣдованій *Bergst* и Жюлиа, не смотря на

разнообразіе методовъ, результаты были получены относительно близкіе: отъ 5,41 до 5,692. /только первня изслѣдованія дала 4,71/. Съ большою вѣроятностію можно принять за среднюю плотность тѣла земли величину 5,57. Мы знаемъ также, что средній удѣльный вѣсъ земной коры, литосферы, на сколько она намъ доступна, не превышаетъ 2,62,7. Если принять во вниманіе океаны, то средній удѣльный вѣсъ литосферы и гидросферы не превышаетъ 2. Следовательно удѣльный вѣсъ внутреннихъ частей земли долженъ значительно превышать среднюю величину 5,57. Лапласъ, принимая возрастаніе удѣльнаго вѣса съ глубиною въ арифметической прогрессіи, принявъ удѣльный вѣсъ ядра земли въ 10,047. Другіе изслѣдователи, принимая во вниманіе средній удѣльный вѣсъ земной коры въ 1,377, получили для ядра земли величину 16,73.

Совершенно правильнымъ заключеніемъ изъ этихъ разсужденій будетъ, что ядро земли сложено изъ веществъ весьма тяжелыхъ. Полагаютъ, что такимъ веществомъ должно быть желѣзо. /Удѣльный вѣсъ этого металла, наиболѣе распространеннаго въ земной корѣ на ряду съ алюминіемъ и кремніемъ, - 7,844. Если принять, что двѣ трети массы земли состоятъ изъ желѣза, то средняя плотность земли не противорѣчитъ такому представленію. Распространеніе желѣза на другихъ міровыхъ тѣлахъ можетъ служить также подтвержденіемъ такого представленія. Припомнимъ распространеніе желѣза въ метеоритахъ, т.е. въ массахъ, представляющихъ остатки планетныхъ тѣлъ, подобныхъ землѣ. обычно 17

Извѣстныя геофизикъ *Wiechert* ранѣе его американскій геологъ Дэнъ доказываютъ, исходя изъ средней плотности земли 5,55, средней плотности твердой земной коры - 3,2, полярнаго сжатія земли $\frac{1}{296}$ до $\frac{1}{297}$ и плотности желѣза подъ большимъ давленіемъ въ 7,8, что земное тѣло должно имѣть желѣзное ядро въ 10000 км. діаметромъ, которое окружено каменной оболочкой діаметра 1500 км. Эта оболочка простирается въ глубину на $\frac{1}{4}$ ч. земнаго діаметра, по объему составляетъ половину всего объема, а по массѣ 0,3 всей. Рѣзкихъ границъ между ядромъ и оболочкой не можетъ быть, а послѣд-

рая постепенно становится все более богатой железом. Судебствует и совершенно иное предположеніе о сущности ядра земли. Нѣтъ надобности прибѣгать къ предположенію о сложеніи его изъ матеріи высшего уд. вѣса, чтобы объяснить средній уд. вѣсъ тѣла земли. Дѣйствительно, съ пониженіемъ внутри земли должно возрастать давленіе, подѣ вліяніемъ котораго уплотняется всякое тѣло; такъ, воздухъ на глубинѣ 7.6 миль долженъ имѣть плотность воды, а на глубинѣ уже 11 миль - плотность платины. На глубинѣ 20 миль вода удваиваетъ свою плотность, въ глубинѣ 80 миль она имѣетъ плотность ртути. Если принять въ центрѣ земли, какъ это дѣлаетъ Гершель давленіе въ 300000 атмосферъ, или 309900 на 1 см. то сталь должна сократить свой объемъ въ 4 раза. Конечно, способность тѣла сжиматься имѣетъ предѣлъ, а съ другой стороны высокая температура должна противодействовать сжатію и нельзя стѣснить въ вопросѣ, зависитъ ли увеличеніе уд. вѣса ядра земли отъ возрастанія давленія съ глубиной, или, что вѣроятнѣе, отъ преобладанія на глубинѣ въ составѣ земной матеріи веществъ болѣе тяжелыхъ. Для рѣшенія этого вопроса мы не имѣемъ никакихъ положительныхъ данныхъ, все равно будемъ ли мы принимать ядро земли въ жидкомъ или твердомъ состояніи. Если мы остановимся на заключеніи о жидкомъ состояніи ядра, то вопросъ осложняется еще однимъ соображеніемъ - всегдѣ ли переходъ въ твердое состояніе сопровождается увеличеніемъ удѣльнаго вѣса? Для воды, висмута и многихъ сплавовъ мы имѣемъ какъ разъ обратное. Штебель приводитъ наблюденія, показывающія, что глыбы плотной лавы плаваютъ на поверхности расплавленной лавы, какъ ледъ на водѣ; следовательно жидкая лава при переходѣ въ твердое состояніе не уменьшается, а увеличивается въ объемѣ. Если, онъ говоритъ, земная матерія въ жидкомъ состояніи тяжелѣе, чѣмъ ея продукты отвердѣванія, то становится понятнымъ, что средняя плотность тѣла земли, которое внутри состоитъ изъ этой матеріи, превосходитъ плотность веществъ, доступныхъ нашему наблюденію на земной поверхности, именно несомнѣнно изверженнаго происхожденія горныхъ породъ.

было бы непонятным скорее, если бы предполагать обратное отношение, т.е. что матерія въ жидкомъ состояніи легче, а въ твердомъ - тяжелѣе.

Вопросъ о причинѣ высокаго удѣла земли остается открытымъ. Теперь возникаютъ еще два новыхъ - объ агрегатномъ состояніи матеріи внутри земли и объ источникѣ внутренней теплоты земного шара. (Надъ разрѣшеніемъ перваго трудился умъ всѣхъ вѣковъ; жадя его разрѣшенія заставила, какъ рассказываетъ преданіе, Сипедокла изъ Агригенти броситься въ кратеръ Этны послѣ продолжительныхъ наблюденій на ней надъ сущностью подземнаго огня. Проще всего этотъ вопросъ разрѣшился перковью, воспользовавшейся существованіемъ подземнаго огня для подходящаго мѣстопробыванія грѣшниковъ; до сихъ поръ еще, говоритъ Ратцель, немало людей, которые считаютъ вулканическія изверженія и землетрясенія за предупрежденія ада.)

Отвѣтить на первый вопросъ мы только и можемъ, если согласимся относительно отвѣта на второй, т.е. мы должны остановиться на какомъ нибудь одномъ рѣшеніи относительно источника теплоты внутри земного шара, на какой нибудь одной гипотезѣ, и исходя изъ нея стремиться къ рѣшенію вопроса объ агрегатномъ состояніи внутри земли.

Кантъ-Лапласовская небулярная гипотеза мірозданія рассматриваетъ внутреннюю теплоту земли, какъ остатокъ тепла отъ прежняго газообразнаго и огненно-жидкаго состоянія земного шара. Это представленіе наиболѣе распространенное, но не единственное. (Физикъ Локіеръ и еще раньше физикъ *Smith* /изъ Мюнхена/ разработали конгломератную теорію творенія земли. По этому взгляду земля создавалась отъ концентраціи мириадовъ метеоритныхъ потоковъ/роевъ/. Современные изслѣдованія надъ явленіями эманаций все болѣе склоняютъ ученыхъ къ объясненію, напр., солнечной короны выдѣленіемъ метеоритныхъ частицъ; изъ такихъ же частицъ состоятъ хвосты кометъ, отталкиваемые отъ солнца энергіей его лучей. Нѣкоторые ученые предполагаютъ, что скопленіе мощныхъ метеоритныхъ массъ на поверхности луны, когда она еще была въ пластическомъ состояніи, должно было повести къ возник-

поверію ея кратерообразных кольцевых горъ. Къ конгломератовой гипотезѣ мы еще вернемся, пока же отиѣтимъ, что обѣ гипотезы представляютъ не болѣе, какъ орудіе въ поискахъ истины. Обѣ гипотезы удовлетворяютъ человѣческому стремленію обнять съ одной точки зрѣнія возможно большую сумму фактовъ, но небулярная до сихъ поръ обвиняется гораздо болѣе явленій природы. Она объясняетъ съ одной стороны отношеніе нашей планеты къ другимъ мировымъ тѣламъ, а съ другой обвиняетъ съ наибольшей полнотой явленія внутренней жизни земли. Остановимся и мы пока на этой гипотезѣ. Какимъ же образомъ мы можемъ познать проявленія теплоты изъ внутренняго источника земли?

Мы знаемъ, что солнечная теплота проникаетъ внутрь земли только на ограниченную глубину. Чѣмъ рѣзче колебанія температуръ въ теченіе года, тѣмъ дальше эта поверхность. Этотъ такъ называемый слой постоянной температуръ; на экваторѣ онъ ближе всего къ поверхности, въ нашихъ широтахъ на глубинѣ около 20м. Знаемъ также, что съ углубленіемъ ниже слоя постоянной температуръ повскаду, гдѣ дѣлались такіа наблюденія, температура возрастаетъ. Глубину, на которую надо спуститься, чтобы температура возрасла на 1°C называютъ геотермическимъ градусомъ. Она не отличается постоянствомъ въ разныхъ точкахъ земной поверхности и даже на одной и той же. Аномаліи особенно крупныя наблюдались въ шахтахъ, напримѣръ, Прибреже /до 82,7м. въ среднемъ 65м./ и въ буровыхъ скважинахъ въ Тосканѣ /до 15м./ Последнее объясняется удовлетворительно близкимъ присутствіемъ вулканическихъ очаговъ, дававшихъ изверженія еще въ третичное время и вѣроятно до сихъ поръ не охлажденных совершенно. Въ другихъ случаяхъ незначительная величина геотермическаго градуса объясняется также близостью горячихъ источниковъ.

Естественно что на величину геотермическаго градуса оказываетъ вліяніе качество горныхъ породъ. Температура возрастаетъ болѣе въ сланцахъ, чѣмъ въ гранитѣ. Величина градуса уменьшается, напр. въ каменной соли, которая отличается высокой теплопроводностью. Градусъ уменьшается въ ка-

нервсугольныхъ слояхъ, гдѣ химическіе процессы повышаютъ температуру.

Если даже не считаться съ этими причинами, нарушающими однообразіе геотермическаго градуса, то не трудно сообразить, что величина его могла бы быть повсюду одинаковой лишь въ томъ случаѣ, еслибы повсюду разстояніе источника тепла отъ поверхности земли было бы одинаковымъ, что въ дѣйствительности невозможно въслѣдствіе различной толщины земной коры въ разныхъ точкахъ поверхности.

Наконецъ, наиболѣе положительнымъ доказательствомъ подвѣтія температуръ съ глубиной является температура лавъ, извергаемыхъ вулканическими очагами, и явленіе горячихъ источниковъ. Температура лавъ не менѣе 1000°C , источники Гейзера и Карлсбада выдаютъ температуру 127° и 76°C . Эта температура не соответствуетъ конечно дѣйствительной температурѣ очаговъ этихъ водъ; вліяніемъ холодной воды и болѣе холодныхъ горныхъ породъ температура источниковъ на пути ихъ подъема понижается.

Повсемѣстное распространеніе вулкановъ и горячихъ источниковъ доказываетъ, что повсюду на глубинѣ температура тѣла земли повышается. Конечно, трудно отвѣтить — повсюду ли распредѣленіе равномерное, т.е. представляютъ ли геоизотермы правильное расположеніе или же мѣстами теплота представляетъ большее напряженіе. Вблизи поверхности земли на положеніе геоизотермъ оказываетъ вліяніе рельефъ за которымъ слѣдуютъ эти поверхности. На глубинѣ 1500-2000м., предполагаютъ, положеніе ихъ опредѣляется только теплопроводностью горныхъ породъ. Подъ горными массивами геоизотермы проходятъ рѣже, подъ океанами онѣ сближены.

Опираясь на такія предположенія о распредѣленіи тепла, полагаютъ, что на некоторой глубинѣ, помнѣнію однихъ около 70км. другихъ до 200км., повсюду внутри земли должна существовать расплавленная масса. Теорія тепла в опыти /Бишофа/ показываетъ, что съ приближеніемъ къ такому источнику тепла, какой мы предполагаемъ въ центрѣ земли, геотермическій градіентъ возрастаетъ. Слѣдовательно, нѣтъ необходимости предполагать увеличеніе тепла глубже этого пояса,

чуть ли не до 250000 С., какъ это допускали прежде нѣкоторые ученые. Во всякомъ случаѣ относительно состоянія вещества даже при температурѣ болѣе 2000°С. и давленійхъ, которыя существуютъ внутри земли, мы можемъ дѣлать лишь догадки.

Гипотеза Цоппритца.

Цоппритцъ и Гинтеръ высказываютъ напр. гипотезу о непрерывномъ измѣненіи агрегатнаго состоянія вещества отъ поверхности къ центру земли /*kontinuitäts-hypothese*/.

Внутри земного шара возможны всѣ возможные агрегатныя состоянія веществъ отъ абсолютно твердаго до абсолютно газообразнаго, диссоціированнаго /одноатомнаго/ и между ними едва ли можно провести какую нибудь границу; они переходятъ другъ въ друга безъ перерыва. Двѣ смежныя безконечно тонкія сферы внутри земли отличаются своимъ состояніемъ безконечно мало.

Тѣмъ не менѣе можно различить 7 различныхъ поясовъ въ тѣлѣ земли, постепенно переходящихъ другъ въ друга. Снаружи мы встрѣчаемъ т в е р д у ю з е м н у ю к о р у , которая не смотря на свою твердость подъ вліяніемъ внѣшнихъ силъ въ слабой степени пластична, какъ то доказываютъ изогнутія земныхъ слоевъ. Глубже должна обнаруживаться все большая относительная подвижность частицъ, которая приводитъ къ поясу въ состояніи с к р и т о й п л а с т и ч н о с т и . Здѣсь вещество по наружному виду твердо, но находится подъ постепенно и равномерно возростающимъ давленіемъ, при уменьшеніи котораго переходитъ въ совершенно твердое. Затѣмъ мы достигаемъ пояса в я з к а г о с о с т о я н і я изъ веществъ преимущественно силикатовой природы; это состояніе черезъ послѣдовательное увеличеніе болѣе жидкостныхъ массъ, подвижность частицъ которыхъ все возростаетъ съ глубиной, приближается къ состоянію упругихъ жидкостей, т.е. достигаетъ пояса обыкновеннаго ж и д к а г о с о с т о я н і я вещества. Далѣе съ глубиной, если допустить, что температура возростаетъ сильнѣе давленія, различныя вещества переходятъ

въ с о о т о я н і е о б ѣ к т о в е н н ы х г а з -
о в ь . При увеличеніи давлєнія вещества переходятъ об-
ратно въ капельно-жидкое состояніе, а еще глубже волѣд-
ствіе увеличенія температуры такой переходъ уже невозмо-
женъ - мы достигаемъ пояса газовъ въ н а д к р и т и ч -
е с к о м ь с о о т о я н і и .

Такъ какъ критическая температура для различныхъ тѣлъ не-
одинакова, то одни вещества могутъ быть уже давно въ над-
критическомъ состояніи, а другія, въ такомъ же разстоян-
іи отъ центра земли, этого состоянія еще не достигли.

Каждый газъ, слѣдовательно, индивидуализируется. Если тем-
пература возрастаетъ еще дальше въ радіальномъ направле-
ніи, такое состояніе индивидуализированныхъ газовъ стано-
вится невозможнымъ, такъ какъ подъ вліяніемъ возрастанія
тепла начинается распаденіе молекулъ вещества. Слѣдовате-
льно согласно такой гипотезѣ въ центрѣ земли существуетъ
поясъ одноатомныхъ газовъ

Упомянутые геофизики не распространяютъ своихъ заключеній
на явленія, которыя обнаруживаются въ твердой корѣ. Даль-
нѣйшее развитіе этой гипотезы мы имѣемъ въ представлені-
яхъ, формулированныхъ географомъ Пенкомъ.

По мнѣнію Пенка земной шаръ представляетъ газовый шаръ съ
оболочками жидкой магматической и наружной твердой, при
чемъ обѣ оболочки не отдѣляются другъ отъ друга и внутрен-
няго ядра сколько нибудь рѣзко. Твердая земная кора поко-
ится на массахъ въ состояніи простой пластичности и ниже
жидкихъ и находится въ состояніи покоя, подобномъ гидро-
статическому равновѣсію - именно высокіе континентальные
массивы представляютъ болѣе легкія части, подокеаническія
депрессіи - болѣе тяжелыя, какъ это отчасти подтверждает-
ся дефектомъ массы надъ континентальными массивами изъ оп-
редѣленія силы тяжести

Земная кора не представляетъ чего либо единого, а состо-
итъ изъ различныхъ частей въ видѣ большихъ и малыхъ от-
ломковъ (*Schollen*), которыя могутъ переходить въ относитель-
ныя движенія, изгибаясь и сдвигаясь при этомъ. Эти отно-
шенія основываются на способностяхъ земной коры приспособ-

латься къ положенію расплавленнаго ядра, по мѣрѣ того, какъ оно все сокращается при все увеличивающемся его охлажденіи.

Подъ океанами вода ихъ дѣйствуетъ охлаждающимъ образомъ, подобно холстному компрессу, и потеря тепла подъ депрессіями будетъ значительнѣе, чѣмъ подъ континентальными массивами. Иначе говоря, подъ океанами послѣдовательныя оболочки будутъ болѣе охлаждены и сокращены, чѣмъ подъ континентами.

Отсюда какъ слѣдствіе - большая плотность земной коры подъ океаномъ, чѣмъ подъ континентами. Слѣдовательно, съ теченіемъ времени тѣ первичныя неровности, въ которыхъ стали собираться воды послѣдующихъ океановъ при дальнѣйшемъ охлажденіи не только должны были сократиться, но еще болѣе усилиться. Постоянство океаническихъ впадинъ и континентальныхъ массивовъ вытекаетъ какъ слѣдствіе неравномѣрнаго охлажденія земного шара. Эти элементы земной коры представляютъ ея устойчивыя части, въ отличіе отъ подвижныхъ, которыя относительно перемѣщаются вслѣдствіе сжатія твердой оболочки, образсванія складокъ изъ нея и сдвиговъ, словомъ отъ различнаго проявленія вулканическихъ силъ.

Въ настоящее время уже не приходится возвращаться къ различнымъ представленіямъ о жидкомъ состояніи ядра земли. Ученіе висцидистовъ /*viscidists* - подвижное/ замѣняется теперь только что изложеннымъ ученіемъ о всевозможныхъ агрегатныхъ состояніяхъ внутри земли, какъ болѣе согласномъ съ законами физики. Наоборотъ, приходится все болѣе считаться съ ученіемъ риджидистовъ /*rigidists* - твердый/ о твердомъ состояніи всего земного шара.

У ч е в і е р и д ж и д и с т о в ъ .

Астрономы, какъ Гопкинсъ, и физики, во главѣ съ Георгомъ Дарвиномъ, доказываютъ, что тѣло земли должно быть совершенно твердое. Расплавленное ядро не могло бы слѣдовать за твердой корой въ вращательныхъ движеніяхъ; притяженіе, возбуждаемое на землѣ солнцемъ и луной, должно было бы быть инымъ въ случаѣ существованія жидкаго ядра. Приливы и от-

ливи должны были бы представляться дифференціальными, т.к. и внутреннее ядро испытывало бы притяжение и изгибалось бы наружную кору. Приливы и отливы в действительности оказываются такими, как и слѣдует по теоріи безъ внутренняго ядра. (Правда, Фолли, бельгійскій астрономъ, показывалъ, что прецессіи и нутаціи дѣйствительныя не противорѣчаютъ существованію внутренняго жидкаго ядра. Словомъ, физики и астрономы требуютъ совершенной твердости земли или по крайней мѣрѣ такой толщины твердой коры, что внутреннее ядро не имѣетъ никакого вліянія на астрономическія явленія, приливы и отливы.) Необходимость твердаго ядра земли доказывалась также рассужденіями о процессѣ охлажденія. Томсонъ, /лордъ Кельвинъ/ показывалъ, согласно съ Пуассономъ, что отбѣлѣваніе при охлажденіи земли шло отъ центра къ поверхности. Прямые наблюденія надъ затвердѣваніемъ совершенно этого не подтверждаютъ. Также полагали, что высокое давленіе настолько повышаетъ точку плавленія, что внутри земли массы должны оставаться твердыми. Доводы физиковъ настолько сильны, что геологамъ пришлось отыскивать какой нибудь компромиссъ, чтобы слѣлатъ возможнымъ объясненіе вулканизма. Изъ геологовъ прежде всего Рейеръ является защитникомъ мнѣнія о твердости земли. Главная масса магмы находится въ твердомъ состояніи подъ вліяніемъ давленія, которое не уравновѣшивается противоположнымъ дѣйствіемъ высокой температуры; тѣмъ не менѣе магма находится въ состояніи способномъ къ изверженію. Если возникаетъ трещина въ земной корѣ, проникающая достаточно глубоко въ магму, то вслѣдствіе уменьшенія давленія послѣдняя переходитъ въ расплавленное состояніе. Такъ какъ она образована изъ смѣси разныхъ силикатовъ, съ различной точкой плавленія, то она становится только частью жидкой; если бы она состояла изъ одного вещества, то переходъ въ жидкое состояніе былъ бы болѣе общимъ. Напряженность такого перехода въ расплавленное состояніе тѣмъ значительнѣе, чѣмъ глубже данная магма и выше ея температура.

Рейеръ, оказывается, исходилъ изъ невѣрныхъ посылкъ. Теперь напримѣръ, по опытамъ Таммана извѣстно, что при достаточ-

но высокомъ давленіи всё тѣла относятся къ нему какъ вода при обыкновенномъ давленіи, т.е. сохраняютъ болѣе низкія точки плавленія /послѣ которой максимальной точки плавленія/. при увеличивающемся давленіи.

Иными словами, при достаточно высокомъ давленіи твердое состояніе вещества отнюдь не является постояннымъ, прочнымъ. Поэтому по словамъ Арденіуса есть полное основаніе присоединяться къ прежнему мнѣнію Араго и Гумбольдта, что твердая земная кора простирается только на незначительную глубину. Арденіусъ, такимъ образомъ держался взгляда совершенно противоположнаго геологическому предположенію Штубеля /см. дальше/, но всё очень уязвимо переноситъ теоретическія соображенія физиковъ и астрономовъ съ новыми опытами давленія.

Г и п о т е з а А р д е н і у с а .

При предположеніи о величинѣ геотермическаго градиента въ 30 м. и при предположеніи, что съ глубиной температура возрастаетъ въ такомъ же отношеніи какъ въ предѣлахъ намѣну наблюденію первыхъ 2000 метровъ, уже на глубинѣ 40 км. будетъ температура 1200 С. На такой же глубинѣ давленіе будетъ не менѣе 10840 атмосферъ, если принять плотности твердой земной коры въ 2,8. При такой температурѣ большая часть минераловъ будетъ расплавлена и эти массы растворятъ остальные болѣе трудно-плавкіе; этому будетъ благоприятствовать еще и высокое давленіе, такъ какъ въ большинствѣ случаевъ раствореніе связано съ уменьшеніемъ объема. Слѣдовательно, съ глубиной около 40 км. начинается огнежидкое состояніе и глубже господствуетъ магна, какъ вязкая и мало сжимаемая жидкость; послѣднее потому, что давленіе повышаетъ всё молекулярныя связи и повышаетъ вязкость /сдѣленіе/ вещества. Жидкость внутри земли напоминаетъ своимъ свойствомъ такія тѣла, какъ смола, которыя мы рассматриваемъ обыкновенно какъ твердые вещества, но отнюдь не воду или ртуть при обыкновенномъ давленіи. Подобное пластическое состояніе характеризуетъ эти глубокія части земли.

гипотеза: "доступная"

3) Если на глубинѣ 300 км. температура такъ высока, что превосходить критическую всѣхъ известныхъ тѣлъ, то упомянутое состояніе огненно-жидкой магмы не можетъ распространяться на особенно большія глубины и магма непрерывно переходитъ въ газообразное состояніе. Но и при этомъ вязкость /сдѣвленіе/ и несжимаемость должны быть еще больше, чѣмъ въ жидкой магмѣ. Газы при такой температурѣ и давленіи представляють вѣчто совсѣмъ иное, чѣмъ обычный газъ. Пластность, способность сжиматься и вязкость /сдѣвленіе/, газове при такихъ условіяхъ такого свойства, что тѣло мы назвали бы твердымъ, еслибы другимъ путемъ мы не приходили къ заключенію, что оно газообразно.

При высокихъ давленіи и температурѣ могутъ существовать такіа соединенія, которыя при обыкновенномъ давленіи и температурѣ отнюдь не могутъ быть устойчивыми. Поэтому если такіа массы внезапно перемѣщаются ближе къ поверхности земли, т.е. въ иныя условія давленія и температуры, онѣ могутъ вести къ взрывамъ, сопровождаемымъ огромнымъ отдѣленіемъ тепла и расширеніемъ.

По представленію Аррениуса, фактическая разница между тремя агрегатными состояніями, которыя онъ различаетъ въ землѣ - твердая кора, огненножидкая магма и газы - ства не велика, и практически эти три состоянія относятся къ медленно дѣйствующимъ деформирующимъ силамъ, какъ твердая тѣла. При такомъ толкованіи результаты изслѣдованій Гопкинса, Дарвина и лорда Кельвина понятны.

Аррениусъ поддерживаетъ также и мнѣніе о присутствіи массъ железа въ центрѣ земли. Вслѣдствіе удѣльнаго вѣса эти массы лежатъ глубже, чѣмъ каменные массы и также въ газообразномъ состояніи. Почти половина всего тѣла земли состоитъ изъ желѣза съ примѣсью другихъ металловъ.

Диаметръ газообразнаго желѣзнаго ядра занимаетъ 80% диаметра земли; затѣмъ 15% газообразной, 4% жидкой магмы и 1% твердой земной коры. Вслѣдствіе большой вязкости нижнихъ массъ, онѣ могутъ подъ вліяніемъ различныхъ силъ вѣдаться другъ въ друга и желѣзные массы, напр. если онѣ находятся въ магмѣ могутъ сдвигаться въ такомъ положеніи

долго и быть выброшенными вулканическими извержениями на поверхность. Части магмы богатая кремнеземом или бедная им /основная/ при спокойном состоянии располагаются по удельному весу, именно основная глубже.

Все упомянутые гипотезы об агрегатном состоянии земли опираются на Канта-Лапласовскую идею. Исходя из нее, Лорд Кельвин говорит о земле как о химически недвигательном, теплом, непрерывно охлаждающемся тѣлѣ.

Против такого взгляда очень ядовито возстал известный географ Ратцель:

"Вообще это представление, что остатки первоначальной теплоты сохранились внутри земли благодаря медленному охлаждению, носит совершенно лѣтскій характер. Земля вѣдь не кофейникъ, который окруженъ чехломъ для сохранения тепла. Взглядъ этотъ не является необходимымъ выводомъ изъ Канта-Лапласовской теоріи. Она скорѣе требуетъ все новаго и новаго образования теплоты для шара, который медленно охлаждается снаружи внутрь и при этомъ сокращается. Сжатіе производитъ гораздо больше тепла, чѣмъ отдаетъ излученіе. Уменьшающійся въ объемѣ шаръ будетъ, слѣдовательно, внутри теплѣе благодаря чисто механическимъ слѣдствіямъ потери тепла извне."

По словамъ Аррениуса, при удѣльной теплотѣ веществъ земной коры въ 0,2 калоріи какой нибудь части земной коры съ высоты 425 м. вызвало бы повышение температуры всего на 5°. Чтобы вызвать плавленіе, т.е. температуру около 1000, необходимо было бы допустить опусканіе отдѣльных участков чуть ли не на 85 км. Можетъ, конечно, произойти отдѣленіе тепла при скольженіи какой нибудь поверхности по другой и даже мѣстное плавленіе; но какъ только наступило бы плавленіе, понижается тревіе, а вмѣстѣ съ этимъ прекращается и повышение температуры. Движенія при сокращеніи земного шара недостаточны, чтобы вызвать значительныя очаги вулканической магмы.

Ратцель справедливо указываетъ рядъ другихъ причинъ, воз-

Лекція по геологіи. Листъ 1-ый.

Н. Богдановичъ

буждающих теплоту въ земномъ шарѣ - окислительные процессы, явленія, связанныя съ уплотненіемъ, электрическіе разряды. Но всѣ такія причины могутъ имѣть только мѣстное значеніе, не включая необходимости предположенія еди-наго источника внутренней теплоты.

Ученія геофизиковъ мало считаются съ требованіями геоло-гій и съ необходимостью объяснить явленія вулканизма. Всѣ спекуляціи геофизиковъ, даже Аррениуса, понижаютъ вулка-вическій очагъ въ такую глубину, что становится трудно по-нять, какимъ образомъ можетъ поддерживаться сообщеніе такого очага съ поверхностью земли. Гонимось, чтобы устро-ить это возраженіе, предполагая амбигу центральнаго оча-га множество изолированныхъ, распределенныхъ въ толщѣ зем-ной коры. Больше строится въ обобщенное представленіе о связи современныхъ вулканическихъ явленій съ огнеопасной матеріей даетъ Ш т ю б е л ь, принимающій въ то же время и значительную степень охлажденія земного шара; въ цѣломъ земной шаръ по его представленію можно рассматри-вать какъ тѣло твердое, но основанія для этого онъ при-водитъ чисто геологическія.

Г и п о т е з а Ш т ю б е л я . / См. схему Штубеля на от-дѣльномъ листѣ. /

По Штубелю въ теченіе неизмѣримо долгаго времени разви-тія земного шара вокругъ огнеопаснаго ядра должна была образоваться система толщъ горныхъ породъ въ видѣ непре-рывной оболочки, которая постепенно укрѣпляла первоначаль-но тонкую планетарную кору отвердѣванія; онъ развѣствуетъ эту оболочку - *Panachecke* - щ и т о в м м ѣ п о к р о в о м ѣ .
Образованіе его онъ поясняетъ такъ: послѣ возникновенія планетарной коры отвердѣванія, еще тонкой, она превра-тилась въ безчисленномъ количествѣ мѣстъ расплавленной массы, которыя возбуждались къ такому подъему увеличе-ніемъ объема магматическаго вещества. Хотя окончательно при переходѣ изъ огнеопаснаго состоянія въ твердое про-исходитъ сокращеніе объема, но съ большой вѣроятностью, думаетъ Штубель, можно предполагать, что процессъ охла-жденія сопровождается всегда фазой молекулярнаго увеличе-

нія объема, какъ это подтверждается опытами надъ расплавленными металлами и сплавами. Слѣдствіемъ этого возникаютъ постоянныя напряжения, разлиывающія твердую кору и ведущія къ временнымъ изліяніямъ расплавленной массы; такія массы постепенно перекрываютъ первичную кору отвердѣванія и ведутъ къ образованію щитового покрова. Постепенно увеличивается такимъ образомъ отвердѣваніе земного тѣла сферужи ввуть; очагъ расплавленной магмы перемѣщается все болѣе ввуть и возрастаетъ, слѣдовательно, сопротивленіе, какое должна преодолѣть магма для своего выступленія на поверхность; чѣмъ толще становится щитовой покровъ, тѣмъ менѣе появляется такихъ мѣстъ изліянія магмы на поверхности. Въ нѣкоторый моментъ отвердѣванія тѣла земли наступаетъ почти равновѣсіе между подземной, эруптивной силой магмы и сопротивленіемъ; **И т ю б е л ь** полагаютъ, что въ теченіе этой фазы развитія, если эруптивная сила преобладаетъ сопротивленію, то происходятъ наиболѣе мощныя и обильныя изліянія магмы. Эту фазу онъ называетъ **с т а д і е й к а т а с т р о ф ь**, но вмѣстѣ съ этимъ прекращается и образованіе перваго покрова.

Такую фазу катастрофы должно было пережить всякое міровое тѣло въ огненножидкомъ состояніи; она знаменуетъ поворотный пунктъ, критическій, въ исторіи развитія; съ этого времени уже не только одні вулканическія силы управляютъ дальнѣйшимъ развитіемъ, — появляются и силы внѣшней геодинамики.

Съ дальнѣйшимъ охлажденіемъ остатокъ огненножидкаго ядра находится уже въ такой глубинѣ, что расплавленная магма не можетъ болѣе подняться до поверхности земли, но ввутья ея происходятъ еще мощныя реакціи.

Части наиболѣе нижнія щитового покрова представляютъ продукты изліянія изъ наименьшихъ глубинъ земли, а наиболѣе верхнія части покрова происходятъ съ наибольшихъ глубинъ, до которыхъ достигъ процессъ охлажденія, вызвавшій ихъ отложеніе.

Толщина щитового покрова можетъ быть только относительно опѣнена; она вѣходится въ опредѣленномъ отношеніи къ

глубинѣ, до которой мыслимо охлажденіе земли и къ величайшей эруптивной силѣ магмы. Для правильного представленія о глубинѣ, до которой охлажденіе земли могло достигнуть, очень важно отмѣтить различія въ степени напряженности вулканическихъ силъ далекаго прошлаго и современныхъ. Геология показываетъ, что вулканическія явленія современные представляютъ слабую тѣнь вулканическихъ явленій прошлаго; следовательно можно предполагать, что тѣло земли въ большей части своего объема захвачено охлажденіемъ и отвердѣло.

Есть еще и другія средства для оцѣнки глубины, до которой достигло охлажденіе земли; это мощность метаморфическихъ и осадочныхъ образований, которыя могутъ быть образованы только изъ матерьяла, взятаго изъ щитового покрова, т. е. продуктовъ отвердѣванія поверхности. Примемъ во вниманіе, что мощность этихъ болѣе новыхъ отложеній достигаетъ до 15-20 км. и что эта мощность можетъ представить только часть предполагаемой мощности щитового покрова; если эта мощность олоевъ въ 15 - 20 км. представляетъ не болѣе какъ кору выѣтриванія щитового покрова, то можно себѣ представить неизмѣримое время, потребнаго, чтобы механическія и химическія процессы, каждый изъ которыхъ продолжается миллионы лѣтъ, превратили первичный изверженный матерьялъ въ осадочное образование. Сколько времени еще прошло прежде чѣмъ эти внѣшніе процессы стали обнаруживаться.

Изъ представленія объ этомъ неизмѣримо долгомъ времени можно съ большою вѣроятностью заключить о глубинѣ, до которой достигло отвердѣваніе тѣла земли. Только слишкомъ слабая оцѣнка величины этого времени и въ то же время переоцѣнка вулканическихъ явленій современныхъ, принимаемыхъ за наглядное доказательство первоначальнаго огневожидкаго состоянія тѣла земли, привела къ предположенію, что толщина коры отвердѣванія земли измѣняется незначительнымъ числомъ километровъ 100 и даже 50.

Переоцѣнить продолжительность времени. необходимаго для петрографическаго развитія и морфологической моделировки земной поверхности, нечего опасаться; скорѣе нужно опасаться

ся недопустить его. Мы сделали бы величайшую ошибку, если бы предположили, что древнейшие археозейские осадочные образования залегают непосредственно на первичной коре отвердевания. Между этими двумя эрами находится еще эпоха, продолжительность которой вбродячо неизмеримо больше продолжительности времени, протекающего от первого появления на земной органической жизни до настоящего времени. Эта эпоха охватывает во первых время охлаждения земли со всеми явлениями извержений и образования щитового покрова, и во вторых время, когда произошло преобразование части этих продуктов извержения в метаморфические образования.

1) В самом панцерном покрове в образующих его массах продолжают процессы складывания и отвердевания, начавшиеся еще на глубинах. Колоссальные массы излившейся магмы продолжали медленно остывать, повреждая лавовый покров и явления такого же рода, как и те, которые заставили подвигаться магму из первичных впадин до ее последующего нового положения. Таким образом кроме центрального очага вулканической деятельности возникли периферические очаги на поверхности первичной коры отвердевания. Иные из таких очагов могли иметь весьма значительное горизонтальное протяжение при громадном кубическом содержании. Мы знаем, что кора, покрывающая лавовый поток, представляет не особенно плохой проводник тепла, а с другой стороны иные из таких очагов могли образовывать соединительные каналы с центральным очагом, и пытаются, так сказать, от него; следовательно, неизмеримо продолжительное время могли поддерживаться вулканические силы в таких поверхностных очагах и возможно, что такие периферические очаги представляют источники современного вулканизма; они же являются и источниками повышенной температуры с глубиной, а не первичная кора отвердевания, покрытая щитовым покровом.

Таким образом по Ш т е б е л ю в истории развития земли обнаруживается, что несмотря на непрерывное охлаждение земиснаружи внутрь, вулканические очаги постепенно

перемѣщались все ближе къ поверхности, давая сначала периферическіе очаги /перваго порядка/ а отъ нихъ отдѣльные локализованные очаги /второго порядка/.

По Штубелю всѣ наши геотермическія измѣренія относятся не только не къ какимъ либо остаткамъ первичной коры отвердѣванія, но и не къ щитовому покрову, а къ породамъ выше этого покрова. Слѣдовательно, источникъ наблюдаемаго тепла относится не къ центральному очагу, а къ периферическимъ.

Если принять вышеуказанный геотермическій градіентъ, то уже на глубинѣ 40 - 50 км. мы должны были бы встрѣтить вещество въ расплавленномъ состояніи, слѣдовательно, подъ павловскимъ покровомъ не могла бы существовать первичная кора отвердѣванія. Ш т ю б е л ь поэтому предполагаетъ два рода геотермическихъ поверхностей; одинъ родъ, о которомъ мы говорили и который мы можемъ установить прямыми наблюденіями. Источникомъ этого тепла являются периферическіе очаги. Источникомъ другихъ служитъ центральный очагъ, а геотермы отъ него распределяются гораздо равномернѣе и гораздо медленнѣе съ глубиной. Эта вторая категория геотермъ опредѣляется начальной температурой, которая лежитъ значительно выше точки плавленія породъ щитового покрова.

Таковы наиболѣе распространенные взгляды. связывающіе явленія вулканизма съ существованіемъ огненножидкой массы внутри земного шара и значительной толщины земной коры.

Въ окончательномъ итогѣ, въ настоящее время нѣтъ рѣзкихъ различій между теоріями висцидистовъ и риджистовъ. Гипотеза Аррениуса лучше всего примиряетъ крайности этихъ теорій. Но съ другой стороны остается совершенно открытымъ вопросъ о толщинѣ твердой земной коры; если Аррениусъ возвращается къ взглядамъ о ея незначительной толщинѣ, то Ш т ю б е л ь съ немалой основательностью доказываетъ весьма значительную степень отвердѣванія земли.

Что касается идей о газобразномъ ядрѣ земли, то Дюпюитцъ доказываетъ, что лишь при такомъ допущеніи ^{существованіи} земной коры, которое служитъ до сихъ поръ основаніемъ современныхъ теорій горообразованія, получить болѣе вѣроят-

ную обобщенность. Нетрудно именно вычислить величину уменьшения объема, вследствие вѣкового охлаждения, для отдельных исследовательских концентрических поясов шаровидного тѣла земли. Разность сокращенія болѣе наружных и внутренних поясов оказывается величатиной для объясненія складчатости земной коры, если принять, что коэффициент расширения земной массы увеличивается вглубь слишком значительно. Для подобнаго предположенія вѣтъ достаточных основаній, если принимать жидкое или твердое состояние ядра земли, такъ какъ коэффициентъ расширенія твердыхъ и жидкихъ тѣлъ вообще очень малъ. Наоборотъ, при предположеніи газобразнаго ядра земли получается болѣе значительный коэффициентъ расширенія, вполне оправдывающій действительно наблюдаемую складчатость земной коры.

Если вопросъ объ источникѣ теллурической теплоты и агрегатномъ состояніи внутри земнаго шара остается нерѣшеннымъ, то неопровержимыя наблюденія показываютъ /Ратцель/ что 1/внутренность земли имѣетъ значительный удѣльный вѣсъ, 2/что увеличеніе теплоты въ земной корѣ доходитъ до точки плавленія горныхъ породъ на относительно уже небольшихъ глубинахъ и 3/что земная кора достаточно устойчива для противодѣйствія различнымъ вѣшнимъ силамъ притяженія /солнца, луны./

Г и п о т е з а С т р е т т а .

Для конгломератовой гипотезы творенія земли имѣютъ болѣе значеніе послѣднія изслѣдованія надъ радиоактивностью горныхъ породъ.

Какъ извѣстно, радій постоянно развиваетъ теплоту; источники ея служатъ испускаемые имъ лучи въ процессѣ его атомнаго распада; энергія этихъ лучей поглощается отчасти самимъ веществомъ радіевой соли и превращается при этомъ въ тепловую. Наблюденія показываютъ, что температура трубочки съ небольшимъ количествомъ чистой бромистой соли радія всегда выше температуры окружающей среды приблизительно на 3 С. Эманации радиоактивныхъ веществъ свилѣ-

тельствуют о непрерывном их распаденіи и, следовательно, освобожденіи теплоты: при значительном и повсемѣстном присутствіи радиоактивныхъ веществъ въ земной корѣ, она должна постоянно нагреваться. Англійскій ученый О т р е т т /сынъ лорда Ралея/ вычислилъ, что для поднятія температуры съ глубиной, выражаемаго среднимъ геотермическимъ градусомъ, было бы достаточно присутствія радія въ землѣ въ количествѣ ничтожномъ, не болѣе 1 - 2 десятиллионныхъ долей грамма на 1 куб. метръ земного вещества. Если бы содержаніе радія въ этомъ веществѣ было выше, то и стѣвленіе тепла въ земной корѣ было бы значительнѣе и земной шаръ былъ бы теплѣе. О т р е т т ъ подтверднулъ изслѣдованію образцы различныхъ горныхъ породъ изъ разныхъ мѣстностей Европы, Африки, Гренландіи и др. Всѣ изслѣдованныя имъ породы оказались радиоактивными и притомъ въ степеняхъ, превышавшей только что указанную норму. Въ породахъ, наименѣе богатыхъ радіемъ, напр. базальтахъ Гренландіи, содержаніе радія всетаки въ 10 разъ больше этой нормы, а въ наиболее радиоактивныхъ /гранитахъ изъ южной Африки/ въ 100 - 140 разъ больше. Въ осадочныхъ породахъ содержаніе радія оказалось почти такимъ же, какъ и въ изверженныхъ, что совершенно естественно въ виду ихъ вторичнаго образованія изъ изверженныхъ. Въ среднемъ, содержаніе радія въ горныхъ породахъ оказалось въ 50 - 60 разъ выше, чѣмъ количество необходимое по вычисленію для развитія теплоты, опредѣляемой геотермическимъ градусомъ. Чтобы объяснить несоотвѣтствіе результатовъ опытовъ и вычисленій, О т р е т т ъ полагаетъ, что въ ядрѣ земли радія нѣтъ, или, по крайней мѣрѣ, если его тамъ не распадаются и не радиоактивны. Онъ вычисляетъ затѣмъ, что радиоактивныя породы, одинаковыя съ доступными нашему наблюденію, составляютъ не болѣе части по объему всего земного шара: въ противномъ случаѣ земная кора была бы теплѣе. Отсюда онъ заключаетъ, что твердая земная кора, т.е. кора изъ веществъ разнообразныхъ горныхъ породъ, имѣетъ толщину не болѣе 45 миль, а въ случаѣ большаго развитія въ земной корѣ породъ болѣе радиоактивныхъ, напр. гранита, толщина коры еще меньше, не

осле 30. миль.

Стрётт не дѣлаетъ никакихъ заключеній отсюда о природѣ ядра земли, а распространяетъ свои заключенія между прочимъ на объясненіе свойствъ луны.

Удѣленный вѣсъ луны около 3.5; слѣдовательно, можно думать, что вся масса луны сложена изъ породъ одновесныхъ съ породами земной коры. Если это такъ, то тѣло луны должно быть богаче радіемъ, чѣмъ земля. Объемъ луны въ 50 разъ меньше объема земли, и О т с ѣ т т ъ вычисляетъ, что количество радія въ лунѣ составляетъ все таки около половины его количества въ землѣ. Этого количества достаточно, что бы поднять температуру тѣла луны гораздо выше, чѣмъ въ землѣ. При малой поверхности лучеиспусканія луны можно думать, слѣдовательно, что луна вовсе не представляетъ холоднаго и мертваго тѣла. Слѣды вулканической дѣятельности на лунѣ выражены рѣзче, чѣмъ на землѣ, но если соображенія Стрётта вѣрны, то лунные вулканы не потухшіе, а дѣйствующие до сихъ поръ. Астровомъ П и к к е р и н гъ, извѣстный селекнологъ, увѣряетъ также, что кратеры лунныхъ вулкановъ подвергаются по временамъ рѣзкимъ измѣненіямъ.

Интересно, что по изслѣдованію Стрётта желѣзные метеориты не радіоактивны, въ противоположность каменнымъ. Отсюда, указавіе на вѣроятную причину не радіоактивности и ядра земли если оно сложено изъ желѣза.

Въ гипотезѣ Стрётта много недоговореннаго; она не объясняетъ всѣхъ явленій, напримѣръ, сильнаго проявленія вулканизма въ минувшія эпохи на землѣ. Хотя можно предполагать что вулканизмъ ослабѣваетъ, по мѣрѣ расходованія радіоактивной энергіи.

Если источникомъ теплоты внутри земли является радіоактивныя вещества, то падаетъ и вебулярная гипотеза. Теплота развивается во всякомъ мѣровомъ тѣлѣ по мѣрѣ его образованія изъ космической пыли; въ массѣ такого твердаго и холоднаго тѣла постепенно температура должна подниматься до точки плавленія составляющихъ его веществъ. Бить можетъ, что первоначально холодное тѣло со временемъ достигаетъ и фазы огневжидкаго состоянія, послѣ которой исторія развитія

мірового тіла можетъ быти понимаема какъ, и по небудярой гипотезѣ. Трудно еще обнять всю сумму явленій, на котрѣ бросаетъ новѣйшій свѣтъ гипотеза Стрѣтты, но одно несомнѣнно ясно, что она даеъ новое основаніе для представленія о круговоротѣ вещества въ міровомъ пространствѣ и о вѣчности матеріи, подтверждающейся только непрерывными превращеніями: эманация радиоактивныхъ веществъ есть лишь переходная стадія въ распаденіи однихъ тѣлъ и образованіи новыхъ.

I

Вулканическія явленія въ тѣсномъ смыслѣ.

Подъ вулканизмомъ въ тѣсномъ смыслѣ понимаютъ вулканы и всѣ явленія, сопровождающіе ихъ образованіе, ихъ дѣятельность и потуханіе.

Связь вулканическихъ съ дислокаціей
или нарушеніями залеганія въ зем-
ной корѣ.

Постепенное развитіе "трещиной" гипотезы образованія вулкановъ.

Вернеръ полагалъ, что вѣтъ горныхъ породъ, первично образующихся изъ расплавленной массы, а дѣятельность современныхъ вулкановъ объяснялъ подземными пожарами залежей каменного угля или другихъ горючихъ веществъ.

Л. Ф. Н у хъ послѣ изученія вулканическихъ областей Италіи и Франціи и Канарскихъ острововъ совершенно изгналъ изъ науки увлеченія Нептунистовъ и создалъ свою теорію кратеровъ подвѣтія, которую одновременно принялъ и развили Г у м б о л ь д т ь .

По теоріи подвѣтія при вулканическихъ изверженіяхъ не только выдѣляются различныя вулканическія продукты, но происходятъ также и нарушенія залеганія пластовъ, на которыхъ образуется вулканъ. По этой теоріи вулканическая сила, дѣйствующая снизу вверху, поднимаетъ не только олоя прежде существовавшихъ породъ въ форму вулканической горы, но вызываетъ подвѣтіе и цѣлыхъ массъ земной коры, образующихъ горныя хребты.

Если расплавленная масса прорывается на поверхность, то она, поднимая и разрывая осадочные породы, образует, так называемые **к р а т е р н ы е п о л н я т і я**. Внутри его уже поднимается расплавленная масса, которая постепенно нарастая, выливается из другого канала, отверстие которого представляет **к р а т е р ь н ы й в ы ж е в і я**. /Мухомовъ, т. 1, стр. 488, рис. 544/.

Почти одновременно съ развитиемъ взглядовъ В у х а другой изслѣдователь П у л е - С к р о п ѣ доказывалъ, что вулканы не представляютъ пузырьобразнаго вздутія земной коры, какъ это предполагаетъ теорія кратеровъ полнѣтїа; онъ говорилъ, что магма въ состояніи изверженія переходитъ изъ болѣе или менѣе твердаго состоянія въ жидкое, при этомъ расширяется и раскрываетъ трещины въ массахъ твердой коры находящихся надъ нею, и создаетъ, такимъ образомъ, путь къ поверхности земли. Конусъ, или вулканическая гора, образующаяся надъ такимъ выходомъ магмы представляетъ не вздутіе частей твердой коры, черезъ которыя прорывается магма, а сложень изъ матерьяла, поднимающагося при этомъ изъ внутренняго очага, отчасти въ видѣ расплавленной массы, т. е. лавы, отчасти изъ рыхлыхъ продуктовъ изверженія - пепла, бомбъ, лапилли. Одни вулканы сложены, слѣдовательно, изъ однороднаго лавоваго матерьяла - это однородные вулканы; другіе изъ рыхлыхъ продуктовъ, это насипные конусы. Активное дѣйствіе магмы на изогнутіе перекрывающихъ толщъ Пуле Скропъ призывалъ и приводилъ этому примѣры, не придавая этому значенія, опредѣляющаго самую форму вулкана, какъ этого требуетъ теорія кратера полнѣтїа. П. Скропъ черпалъ вниманіе на важную роль воды при вулканическихъ изверженіяхъ. Д я й о н о в ѣ, послѣ изслѣдованій Везувія также опровергавшій теорію В у х а, приписывалъ водѣ главную роль въ явленіи вулканическихъ изверженій. Вода, циркулирующая внутри земли, попадаетъ въ очагъ расплавленной массы, которая въ свою очередь возникла благодаря сочетанію различныхъ химическихъ, электрическихъ и магнетическихъ процессовъ въ земной корѣ. Вода превращается въ паръ, скопляющійся подъ высокимъ давленіемъ и ведетъ къ полнѣтїю ла-

ей и другимъ явленіямъ, сопровождающимъ вулканическое изверженіе. Однимъ изъ доказательствъ причинной связи между водой и вулканическими явленіями Ляйэля считалъ распространеніе вулкановъ всегда около береговъ, вообще морскихъ депрессій.

Разница во взглядахъ съ одной стороны Л. Вуха и его полюбителей, какъ *Эли де Бомати*, Дюфрену, С. Клеръ Девиля, Абишъ и съ другой П. Скропа и Ляйэля по существу выразилась лишь въ томъ, что первые приписывали морю активное вліяніе на созданіе рельефа и нарушеніе залеганія, а вторые - считали ее только пассивнымъ матерьяломъ для созданія нѣкоторой формы рельефа, именно вулканическихъ горъ. Въ ряду первыхъ именъ мы видимъ замѣчательныхъ наблюдателей и опытныхъ умы; это показываетъ, что далеко не все было ясно въ представленіяхъ Ляйэля. Только въ семидесятыми годами ученіе Ляйэля и П. Скропа совершенно восторжествовало, и пассивное изверженіе моря слѣдилось общепринятымъ ученіемъ. Дальнѣйшее изученіе строенія земной коры показало, что вулканы входятъ въ тѣсную зависимость отъ нарушеній залеганія, дислокацій; такъ, самыя крупныя перемѣщенія происходятъ на окраинахъ континентовъ и тамъ обыкновенно расположены дѣйствующіе вулканы. Для вулкановъ потухшихъ, прошлаго, расположенныхъ теперь вдали отъ моря, можно всегда доказать, что во время ихъ дѣятельности море было ближе къ нимъ, а если не море, то обширныя прѣсноводныя бассейны. Напр. для вулканическихъ образований южныхъ Карпатъ въ третичную эпоху было соответствующее море - на равнинѣ Венгерской - Сарматское.

Постепенно выработался взглядъ, что первымъ условіемъ для возникновенія вулкана необходимо предварительное существованіе трещины въ земной корѣ. Не магна в отдѣляющіеся отъ нея газы создаетъ высадкой каналъ, какъ думалъ еще П. Скропъ, а такой выводной каналъ существовалъ уже раньше. Магна пользовалась только готовыми уже ходами. Въ такомъ видѣ ученіе о вулканахъ существовало до самаго послѣдняго времени, почти до половины девяностыхъ годовъ, хотя отдѣльные голоса раздавались противъ и раньше.

Развитіе современных пред-
ставлений объ активности магм.

Лакколати. Въ 1877 г. Джильбертъ описалъ въ шт. Массе⁶⁴ гора *Mount Maunt* особенное куполообразное поднятіе осадочныхъ породъ на плато выс. 1500 м. /*Mount Elsworth* /. Наиболее высокій куполъ *Mount Ellen* поднимается на 2429 м. надъ уровнемъ моря. Поднятіе осадочныхъ породъ было приписано трахитовымъ /гранитовымъ/ породамъ, выходящимъ чечевицеобразно среди осадочныхъ образований. Самые куполы получили названіе лакколатовъ, /могильныя камни/. Объясненіе этихъ формъ вызвало много споровъ.

Исследованныя горы поднимаются на плато, сложенномъ изъ мѣловыхъ породъ, каждая изъ такихъ горъ сложена изъ громадныхъ известковыхъ массъ, выходящихъ среди осадочныхъ породъ. Вѣдженъ /вѣдженъ/ исследовала въ концѣ третичнаго періода и происходила подъ покровомъ еще по крайней мѣрѣ 1000 м. озерныхъ и рѣчныхъ третичныхъ отложений, въ этой части плато затѣмъ сытныхъ. /т 1, стр. 493/. Однѣ массы расположены среди мѣловыхъ слоевъ, другія среди юрскихъ и триасовыхъ, а наиболее глубокія среди каменноугольныхъ. Эти послѣднія должны были приподнять толщу породъ по крайней мѣрѣ 2200 - 2500 метр. мощностью. Такое ступенчатое залеганіе этихъ могильныхъ камней вызвало то обстоятельство, что они нервною размыты при послѣдующей денудациі. Вотъ вѣкоторые лакколати, покровы которыхъ еще вовсе не размыты; они обнаруживаются куполообразными поднятіями осадочныхъ образований или даже жилами. Въ другихъ размыты подвинутая настолько, что они выдвигаются изъ куполовъ среди возвышенныхъ краевъ, съ массой палеогеновыхъ залежей. Третьи обнаруживаются совершенное размытіе уже осадочнаго покрова; наковѣ встрѣчаются и такіе, которые расчленины черезъ всю толщу до основанія. Размыты ихъ различны: одни изъ наиболее значительныхъ /*Mount Miller*/ имѣютъ окружность до 20 км. и мощность до 2200 м.

Оболочки лакколатовъ въ контактѣ обыкновенно сильно измѣнены и имѣютъ много пластовыхъ жилъ. Иногда же вся ин-

тузія виразилась вартікватичнім рядом чечевидеобразних залежей. въ середній силъ винуклихъ, таковы, напр., лакколиты описанные *Moltes* въ юго-западъ. Колорадо. Форма ихъ не' всегда чечевидеобразная, иногда асимметричная или стокобразная.

З к с о ть полагаетъ, что вѣдѣнію изверженныхъ породъ долже предѣстествовать образованіе пустотъ среди осадочныхъ вслѣдствіе массовыхъ движеній въ земной корѣ; въ отличіе отъ лакколитовъ онѣ послужили бы вознмать такіа форма *б а т о л и т а м и*. Затѣмъ было доказано, что нѣкоторые лакколиты не только заполняли пространство между осадочными породами, но вызывали и изверженія на поверхности, сопровождаясь образованіями многочисленныхъ вѣдѣній *по сложенію* и жидкихъ въ окружающія породы.

Лакколиты были описаны затѣмъ и въ Европѣ. Даже замѣчено было подобныя образованія не только въ прошломъ, но и на современныхъ вулканахъ. Такъ 4 февр. 1866г. при образованіи о-ва Георгіосъ въ группѣ Санторина было замѣчено, что морскія отложенія покрывшія дно моря въ бухтѣ Санторина въ теченіе продолжительнаго періода покоя вулкана, были приподняты снизу при возбужденіи вулканической дѣятельности на островахъ и изогнуты давленіемъ поднимающейся массы. Наконецъ, недавно на Везувіѣ было замѣчено медленное вступленіе массы приподнявшее превсія отложенія. На Везувіѣ съ 1825г. при непрерывной дѣятельности вулкана на трещинныхъ склонахъ гора въ *Atrio del Cavallo* образовалось лавовое накопленіе въ формѣ купола высотой 825м. Въ февр. и мартѣ 1888г. этотъ плоскій куполъ обринулъ замѣтное взлутіе и увеличеніе высоты на 15м. Лава, которая не могла болѣе выйти черезъ вершину купола, приподняла весь куполъ прежде, чѣмъ рѣшила себѣ новый выходъ. Во время этого взлутія купола лава въ главномъ кратерѣ Везувія поднималась до глубины отъ поверхности на 60м. а раньше она стояла въ глубинѣ 300м. Несомнѣнно, что сѣвшая лава интрузировалась, вѣдрялась, между затвердѣвшими массами купола, какъ это происходило въ лакколитахъ.

Сомнѣнія въ причинѣ связи вулкановъ и трещинъ были формулированы въ 1866г. Л ѳ в л е м ѣ . который опредѣленно высказался за возможность для лавы создавать себѣ

путь къ земной поверхности независимо отъ раньше сущест-
вовавшихъ трещинъ.

Несомнѣнно, что вулканы расположены на частяхъ земной
коры, разбитыхъ трещинами, но отсюда еще не слѣдуетъ,
что изверженія вулкана связаны съ отдѣльными разломами.
Напр. третичныя изверженія сѣверной Богеміи расположены
на опустившемся южномъ крылѣ разлома, Рудныхъ горъ и на
ихъ вершинахъ, слѣдовательно, не на линіи разлома, а по
обѣ стороны его. Затѣмъ *Dutton* наблюдалъ въ области
большого каньона р. Колорадо, что всѣ выводные каналы ве-
большихъ вулканическихъ горъ на плоскогорьяхъ кажутся пере-
сѣкающими всю серію осадочныхъ образований независимо отъ
линій большихъ разломовъ; въ одномъ изъ разрѣзовъ кань-
она можно прослѣдить положеніе базальтовой трубы до шла-
кового конуса на склонѣ ущелья.

Замѣчательно положеніе лакколитовъ *Henry Mountains* на-
плато, которое огравивается на западѣ флексурой *Water-
rocket flexure*, понизившей всю эту мѣстность относительно за-
пада по крайней мѣрѣ на 2134 м. Лакколиты поднимаются на
опустившемся участкѣ земной коры, гдѣ слои совершенно го-
ризонтальны. Мы увидимъ дальше, что какъ бы общимъ правы-
ломъ является положеніе обширныхъ областей изверженія на
участкахъ опусканія, а не поднятія. Это правило обнаружи-
вается очень ясно на крупныхъ изверженіяхъ, сопровождав-
шихъ главныя обросовыя трещины плато Колорадо. Звсѣхъ, опи-
раясь на эти факты, говорить, что нѣтъ никакихъ основа-
ній разсматривать поверхностныя изверженія и образованія
лакколитовъ за явленія различнаго порядка. Эти же факты
даже поводъ ему говорить вмѣстѣ съ *Даттономъ* и другими,
что изверженія даже могутъ быть слѣдствіемъ простыхъ за-
коновъ гидростатики — нѣсь опускающихся участковъ земной
коры должны играть важную роль въ выдавливаніи и подня-
тіи расплавленныхъ массъ, расположенныхъ подъ ними.

И з о л ѡ в а н і я Г и к и . / *Geikie* /

Въ 1879 г. Г и к и описалъ подѣ възвѣіемъ *песка* / *песка* /
кругамъ или эллиптическія тѣловыя заповненія трубообраз-
ныхъ пространствъ среди палеозойскихъ отложеній средней
Шотландіи. Эти образованія очень распространены среди та-

мошних каменноугольных отложений, встречаюсь как на берегу моря, так и внутри страны и как исключение только в связи с нарушением залегания осадочных слоев. Даже как правило наблюдается, что их появление независимо от образования той части поверхности, на которой они поднимаются. Их диаметр очень непостоянен и колеблется от нескольких ярдов до двух миль и более. В позднейшей работѣ Гики высказывается за независимость от трещин не только этих вулканических образований, каменноугольного времени, но обобщает эти явления. /т1 стр. 476/.

"Нѣтъ никакого сомнѣнія, что въ значительномъ числѣ выводныхъ каналовъ вулканическихъ образований различнаго времени нѣтъ никакихъ слѣдовъ ихъ связи съ трещинами въ земной корѣ. Тѣмъ не менѣе такія трещины могутъ быть ниже и могутъ служить выводнымъ каналомъ для поднимающейся лавы до нѣкотораго разстоянія отъ поверхности. Вѣрно, однако, что вулканическая энергія обладаетъ силой проложить себѣ путь черезъ верхнюю часть земной коры, не пользуясь для этого какой нибудь трещиной. Съ какой глубины можетъ обнаруживаться такое соединеніе съ поверхностью мы ничего не знаемъ". Это можетъ зависѣть какъ отъ величины вулканической энергіи, такъ и отъ прочности горныхъ породъ въ данномъ мѣстѣ. Выводные каналы вулканическаго типа *Рич*, т. е. однородныхъ, въ большинствѣ случаевъ возникли путемъ взрыва, а не подъемомъ лавы по готовымъ трещинамъ. Гики высказывается за независимость *пещ* отъ трещинъ даже въ тѣхъ случаяхъ, когда такія трещины существовали раньше и располагаются гдѣ нибудь рядомъ; въ каменноугольныхъ коняхъ, пересѣченныхъ *пещ*, можно видѣть, благодаря подземнымъ работамъ, очень много нарушений залеганія, на поверхности не обнаруживающихся. Если бы трещины, или линіи наименьшаго сопротивленія обуславливали положеніе выводныхъ каналовъ, то трещины должны были бы располагаться ниже такихъ видимыхъ теней на поверхности вулканическихъ образований, а не оставаться свободными рядомъ. Вулканы располагаются рядами какъ будто бы вдоль крупныхъ трещинъ въ земной корѣ. Теперь этихъ трещинъ видѣть нельзя, и ихъ присутствіе только подозрѣвается.

Тамъ же, гдѣ дѣйствительно такія трещины были, онѣ заполнены и закрыты вліяніемъ эруптивной дѣятельности.

По мнѣнію Гики между положеніемъ выходящихъ каналовъ и поверхностью, современной имъ, существуетъ известное отношеніе. Изъ исторіи развитія древнихъ вулкановъ Англіи обнаруживается ясно, что отверстія, служившія для изліянія расплавленной магмы, гораздо чаще расположены въ ущельяхъ и на почвѣ долинъ, чѣмъ на высотахъ или холмахъ. Это какъ бы указываетъ на связь вулкановъ съ наплевреніемъ трещинъ, развитыхъ въ земной корѣ, все равно обнаруживаются или нѣтъ такія линіи за массахъ горныхъ породъ поверхности. Но могутъ быть и другія причины такого явленія. На мѣстахъ, гдѣ магма достигла меньшаго разстоянія отъ поверхности, причемъ такое различіе выражается сотнями до тысячи футовъ, выходъ изверженной массы проходитъ тамъ, гдѣ въ корѣ ея толща покрывающихъ породъ имѣетъ наименьшую толщину.

Очевидно, что различіе въ мощностъ покрывающихъ толщ можетъ обнародить свое вліяніе только въ случаѣ совершенно неглубокаго залеганія очага; следовательно, такое толкованіе приводитъ къ предположенію о поверхностномъ залеганіи вулканическихъ очаговъ.

Въ другихъ странахъ можно замѣтить отношенія несогласныя съ такими выводами Гики. Такъ, вулканы Эйфеля расположены на плато, которое лежитъ на 230 м. выше долины р. *Meuse* и отстоитъ отъ нея всего въ разстояніи 500-600 м. и бросается въ глаза, что изверженія массы выбрали все-таки себѣ нуть къ высотамъ, а не въ долину, казалось бы представлявшей наименьшее сопротивленіе ихъ выходу; это тѣмъ болѣе странно, что повторяется во многихъ мѣстахъ группы Эйфельскихъ вулкановъ. Нужно впрочемъ замѣтить, что со времени ихъ дѣйствія эрозія углубилась значительно и въ то время вулканы поднимались далеко не такъ отчетливо на высотахъ. Нѣкоторые же вулканы поднимаются безъ сомнѣнія надъ оклогами уже древнихъ долинъ. Фогель-

заяръ объяснить это тѣмъ, что магма искала выхода уже по готовой дорогѣ, а не создавала новыхъ путей.

Чѣмъ сильнѣе проявленіе вулканической силы, чѣмъ обширнѣе области, захваченныя такимъ проявленіемъ и чѣмъ ладѣе время такого проявленія, тѣмъ значительнѣе должны быть движенія въ земной корѣ, съ которыми они связаны, и тѣмъ обширнѣе пространство, захваченныя такими движеніями. Исторія многихъ третичныхъ вулкановъ и болѣе древнихъ Великобританіи служитъ нагляднымъ доказательствомъ такого отношенія. Несомнѣнно, что вулканы Британіи населялись на участкѣ земной коры опустившемся, а не поднятомъ. Слѣдовательно, это противорѣчитъ излюбленному представленію о связи вулкановъ съ поднятіями, какъ это обнаруживается въ расположеніяхъ современныхъ вулкановъ. Но изслѣдованія многихъ изъ нихъ, напр. Везувія и Этны показало, что они начали формироваться подъ водой; поднятіе многихъ изъ современныхъ вулкановъ, по мнѣнію Гика представляетъ только временное явленіе. Геологическая исторія ясно показываетъ, что вулканическія области по существу области опускавія, а не поднятія.

Гики суммируетъ такъ свои наблюденія по вопросу о связи вулкановъ съ трещинами:

1/Для огромнаго числа вулкановъ связи съ видимыми на поверхности трещинами не обнаруживается. Возможность существованія такихъ нарушеній залеганія на глубинѣ не исключается.

2/Тѣмъ не менѣе эруптивная сила можетъ безъ сомнѣнія проложить путь къ поверхности черезъ толщи, покрывавшія магму, или по крайней мѣрѣ черезъ ихъ верхнія части.

3/Стремленіе магмы выйти тамъ, гдѣ толща покрывавшихъ породъ имѣетъ наименьшую мощность и, слѣдовательно, оказываетъ наименьшее сопротивленіе, подтверждается положеніемъ выводныхъ каналовъ на низменностяхъ и долинахъ.

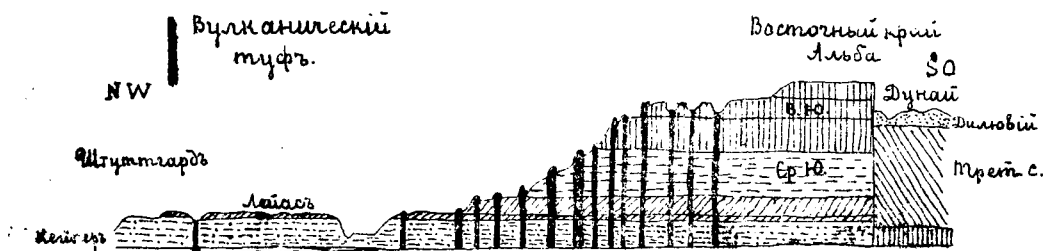
4/ Магматическія изліянія на площади Великобританіи связаны съ движеніемъ частей земной коры. Чѣмъ обширнѣе по пространству, мощности и времени первыя, тѣмъ послѣднія крупнѣе, т.е. распространяемѣе и глубже.

5/Опускавіе, а не поднятіе должно быть удѣломъ отломовъ земной коры, на которыхъ проявляется вулканическая сила.

К. Богдановичъ

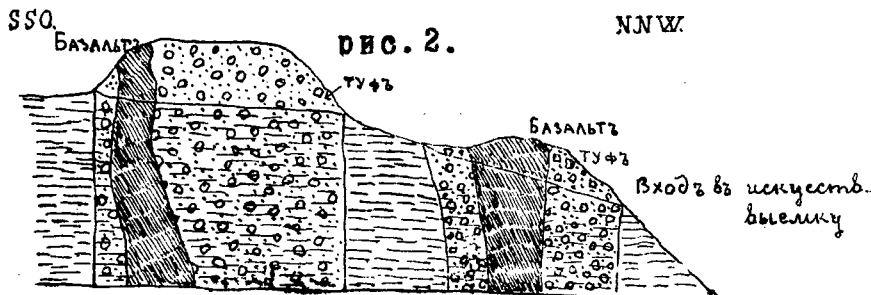
М а р и. Другой замѣчательной областью для изученія явленій вулканизма является сердце Швабии. Северо-западный склонъ Альба въ окрестностяхъ Урха, недалеко отъ Мюльгау.

рис. 1.



Схематическій разсѣзъ съ N на S отъ Штутгарта до южной окраины Альба.

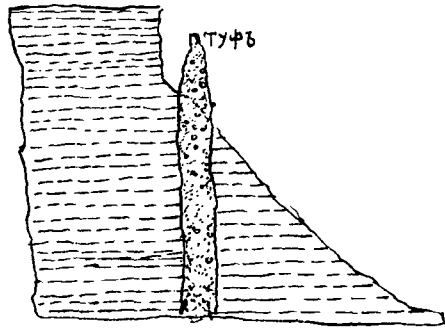
Забѣе на пространствѣ не болѣе 20 кв. миль толщи породъ юрской системы пересѣченъ вертикальными выходящими каналами зачаточныхъ вулкановъ средне-миоценоваго времени. Такихъ каналовъ забѣе насчитываютъ 130; нѣкоторые изъ нихъ проявляются на поверхности въ видѣ округлыхъ или овальныхъ озеровидныхъ пониженій, извѣстныхъ подъ названіемъ м а а р з. Такія пониженія заполнены не твердыми каменными массами, а туфами или кашеобразной смѣсью вулканическаго пепла и угловатыхъ обломковъ всѣхъ тѣхъ горныхъ породъ, въ которыхъ проложены эти вертикальные колоды въ земной корѣ. Эти первоначально рыхлыя слоевія нѣстанн пересѣченъ жильными образованіями изъ отведенной магмы, именно главнѣйше меллигоу базальта и рѣже полевошпатоваго и нефелиноваго базальта.



Туфовыя маарныя образованія съ жилами базальта.

По склонам Альба разрывы таких выходящих каналов можно видеть очень отчетливо; иногда отливные туфовые столбы поднимаются на склоны:

рис. 8



Туфовая жила скалы Конрада.

составъ и строение такихъ образований можно прослѣдить на глубину до 500 - 800м. Можно прослѣдить весь переходъ отъ мааръ, въ видѣ котловинъ, занятой озеромъ, черезъ часть разрушенную впадину, черезъ поднимающуюся среди окружающихъ породъ туфовую жилу мааръ до базальтовой жилы, простирающейся въ глубину на сотни метровъ отъ поверхности.

Маарныя котловины сохранились, конечно, только на самомъ плато Альба; діаметръ ихъ измѣняется отъ 1000м. въ наибольшихъ до 300-250м. въ наименьшихъ.

Швабскія маары не имѣютъ такой правильной воронкообразной формы, какъ Эйфельскія; это скорѣе котлообразныя углубленія всегда безъ окаймляющаго вала изъ щебня и т.п. Эти эмбрионы вулкана, по основательному предположенію проф. Вранко, расположены независимо отъ какой нибудь линіи разлома или обросовъ; по крайней мѣрѣ на поверхности такихъ линій нѣтъ. Нарушенія залеганія, какія здѣсь обнаруживаются, по исследованію Фрааза относятся даже къ болѣе позднему времени, чѣмъ вулканическія образования. Для мааръ Эйфеля /т. I, стр. 417/ можно замѣтить ихъ расположеніе по опредѣленнымъ линіямъ, но по мнѣнію Дехена этимъ линіямъ нельзя приписать значенія линій

разлома, обнаруживающихся и на поверхности.

Вулканическія образования и маары Эйфеля расположены по одной линии вкрестъ простирания девонскихъ слоевъ и кроме того по двумъ меньшимъ линіямъ, согласнымъ съ простираниемъ оолочныхъ образований. Подобныя же двойныя системы вулканическихъ линій отбѣчаютъ въ Центральной Америкѣ, въ Андахъ, на Суматрѣ.

Подобныя же образования представляютъ діатремы около Кимберлея въ южной Африкѣ. Благодаря заполненію ихъ алмазосодержащими брекчіями, форма, развитіе и различныя детали ихъ строения изучены очень хорошо. Это цилиндрическіе колодцы, вертикально пересѣкающіе отложения Кару/Капоо, заполненные брекчіей змѣвиковою породами съ обломками пересѣченныхъ сланцевъ и песчанниковъ.

Дарбинс экспериментально подтвердилъ способность газовъ подъ высокимъ давленіемъ прокладывать путь черезъ горныя породы, образуя вертикальныя колодцы. Въ дѣйствующихъ вулканахъ газы и *магма* ищутъ легкій выходъ по равнѣе открытому выволочному каналу, ~~отраженному~~ *отраженному* предохранительному каналу. Но прежде чѣмъ возникли такія отверстія, давленія газовъ должно было достигнуть напряженія, о величинѣ котораго трудно составить новое представление. Газы концентрировали свое напряженіе по тонкимъ трещинамъ и въ особенности ихъ пересѣченіямъ и силой взрыва открывали по нимъ выводной каналъ. По отбѣлкамъ Кимберлейскихъ воронокъ наблюдаются слѣды истирания, отъ дѣйствія поднимающейся массы, подобныя такимъ же слѣдамъ, полученнымъ *Дарбинс* при искусственныхъ взрывахъ.

Отношеніе распространенія вулканическихъ тектоническихъ линій. Виднымъ защитникомъ мнѣнія о независимости вулканизма отъ трещинъ является Штубель по отношенію къ вулканизму южной Америки. Вулканы располагаются тамъ не въ видѣ непрерывной лѣнны, но образуютъ отдѣльныя группы, между которыми остаются промежутки безъ вулкановъ и такіе промежутки достигаютъ иногда широты нѣсколькихъ географическихъ градусовъ. До сихъ поръ число и положеніе

вулкановъ вѣной Америки точно неизвѣстно и на картахъ
малаго масштаба ихъ положеніе производитъ впечатлѣніе
непрерывнаго ряда, протягивающагося почти на $\frac{1}{2}$ окру-
жности земли. На такомъ маломъ основаніи принимали, что
Кордильеры обозначаютъ направленіе большой трещины, спо-
собствовавшей выводу на поверхность магмы и также прони-
кновению воды къ вулканическимъ очагамъ. Въ действитель-
ности нельзя говорить о какой либо трещинѣ отъ Колумбій-
до Чили. Скорѣе, что вулканы тамъ образуютъ огромное чи-
сло группъ, изъ которыхъ каждая обозначаетъ на поверхно-
сти присутствіе подъ землей одного или нѣсколькихъ оча-
говъ. Вулканы Мексики были изслѣдованы въ концѣ 80. го-
довъ Феликсомъ и Левкомъ. Здѣсь также вулканы не связа-
ны съ какими нибудь дивными разломами или не расположены за-
кономѣрно относительно какой нибудь главной трещины;
часто они не обнаруживаютъ вовсе какого нибудь линейна-
го расположенія. Здѣсь рядомъ съ вулканами, поднимающимися
по тектоническимъ линіямъ, находятся и такіе, кото-
рые никакой связи съ линіями нарушенія залеганія не
представляютъ., которые разбѣяны безъ всякой правильности
по плоскогорью или часто расположены на поперечныхъ
трещинахъ особливыхъ частей.

Эти изслѣдователи въ особенности отмѣчаютъ, что нѣтъ не-
обходимости, чтобы каждая трещина, на которой распола-
гается вулканъ, действительно представляла тектоничес-
кую линію, т.е. сбросъ, хотя часто такъ и бываетъ. Сле-
довательно, и тамъ гдѣ нѣтъ никакихъ сбросовыхъ линій,
поясъ вулкановъ, напр. Попокатепетль, *Иштатхуатль*,
Тламакоотъ можетъ возникнуть на трещинѣ все таки.

Въ Мексикѣ они отмѣчаютъ, что наибольшее напряженіе вул-
канической дѣятельности замѣчается тамъ, гдѣ можно по-
дозрѣвать пересѣченіе различныхъ системъ трещинъ.

Заннеръ держится относительно вулкановъ Мексики со-
вершенно обратнаго мнѣнія, не видя связи вулкановъ съ
тектоническими линіями. Для вулкановъ Европы, напр.
Липарскихъ острововъ /т.1, стр. 505/ Верва доказываетъ
связь ихъ съ радіальными разломами, но понимаетъ эти
разломы не въ видѣ линейныхъ трещинъ, а болѣе или ме-

нѣе чирокіхъ поясовъ разрыва / *Leaving zone* / Слѣдуетъ отмѣтить, что давно замѣчено, что сбросовныя трещины сѣлко остаются открытыми, немаловажно закрываясь отъ давленія передвигаемыхъ частей земной коры; эти перемѣщенные части земной коры значительное раздробленіе, какъ это хорошо видно вдоль сбросовъ, напр. въ различныхъ рудныхъ мѣстоположеніяхъ. Трещины раздробляющаго пояса около главнаго сброса простираются часто параллельно ему, но на поверхности совершенно не обнаруживаются, часто оставаясь скрытыми продолжительное время. Рудныя выдѣленія сосредоточиваются именно въ такихъ поясахъ раздробленія, по которымъ циркулировали подземныя воды, а не по главнымъ сбросовымъ трещинамъ.

Береговая полоса Тихаго океана, охваченная вулканизмомъ, представляетъ такую область раздробленія, далеко вдающуюся въ глубь страны. Новыя складчатые хребты охватываютъ Тихій Океанъ, в Атлантическій и Индѣйскій - сбросовыя страны: только Востъ Индіа и передняя Индіа составляютъ исключеніе и обрамлены вулканами, подобно Тихоокеанскому берегу. Тихоокеанскій типъ береговъ благопріятствуетъ вулканизму, а Атлантическій затрудняетъ его проявленія.

Вулканы южной Америки расположены на такомъ поясе раздробленія вдоль Тихоокеанскаго берега, и конечно нѣтъ необходимости думать, что эти вулканы расположены вдоль одной трещины. Если говорить о южноамериканской или мексиканской вулканической трещинѣ, то подъ этимъ слѣдуетъ понимать сумму безчисленныхъ болѣе или менѣе однородныхъ по направленію линій разломовъ, которыя все, подобно поясу жилъ Соединеній, расположены параллельно главной, вдоль западнаго берега, линіи нарушенія залеганія.

Невозможно отрывать связь между мощными вулканами, охватывающими бассейны Тихаго океана, и этой колоссальной депрессіей на поверхности нашей планеты. Изъ числа 325 вулкановъ, дѣйствующихъ въ современную эпоху, 240 находятся въ области Тихаго океана, именно 102 на азиатскомъ материкѣ, 118 на американскомъ и только 25 въ области самаго океана. Тихій океанъ является по всей справедливости сосредоточіемъ вулканизма земли.

Тектоника требуетъ для опредѣленія ея особенностей обширныхъ геологическихъ изслѣдованій, которыя до сихъ

порь очень затруднительны въ области развитіи самихъ молодыхъ вулкановъ, напр. южной Америки.

Мы видимъ въ результатъ, что трещинная теорія и теорія образования вулкановъ независимо отъ тектоническихъ линій эруптивной силой самой магмы теряютъ свои крайности и сближаются. Защитники трещинной теоріи придаютъ понятію о тектоническихъ линіяхъ совершенно иной смыслъ, чѣмъ прежде, а противники ея настаиваютъ только, что магма можетъ проложить путь къ поверхности независимо отъ какихъ либо трещинъ, какъ это принимаютъ и защитники по отношенію къ верхнимъ частямъ пересѣкаемыхъ толщъ. Трудно сказать, насколько проникновенію магмы способствуютъ тонкія волосныя трещины и другія явленія раздробленія, но можно предполагать, что газы и магма способны въ значительной степени расширять такіе ходы.

Необходимо замѣтить, что во всѣхъ случаяхъ, когда образование вводного канала силой самой магмы стоитъ внѣ сомнѣнія, какъ въ мѣарахъ, діатремахъ, тамъ эруптивный актъ не былъ большого напряженія, что вулканическія силы такъ быстро изсякли и не вели къ изліяніямъ сколько نبودъ значительныхъ массъ; эруптивный актъ не выходитъ въ этихъ случаяхъ изъ начальной стадіи и самый очагъ необходимо предполагать неглубоко. Напротивъ, вулканы развитые на южныхъ тектоническихъ линіяхъ продуктивовали неизвѣрно большія массы матеріала во время длительного періода изверженія. Оказывается, такимъ образомъ, что первыя каналы проявляются въ началѣ образования вулкановъ.

Кромѣ приведенныхъ примѣровъ связи вулканическихъ образованийъ съ тектоническими линіями можно указать еще Японію, гдѣ вулканы Фузи-Яма, Асама и другіе образуютъ такъ называемую Фузи-зону вдоль поперечнаго оброста.

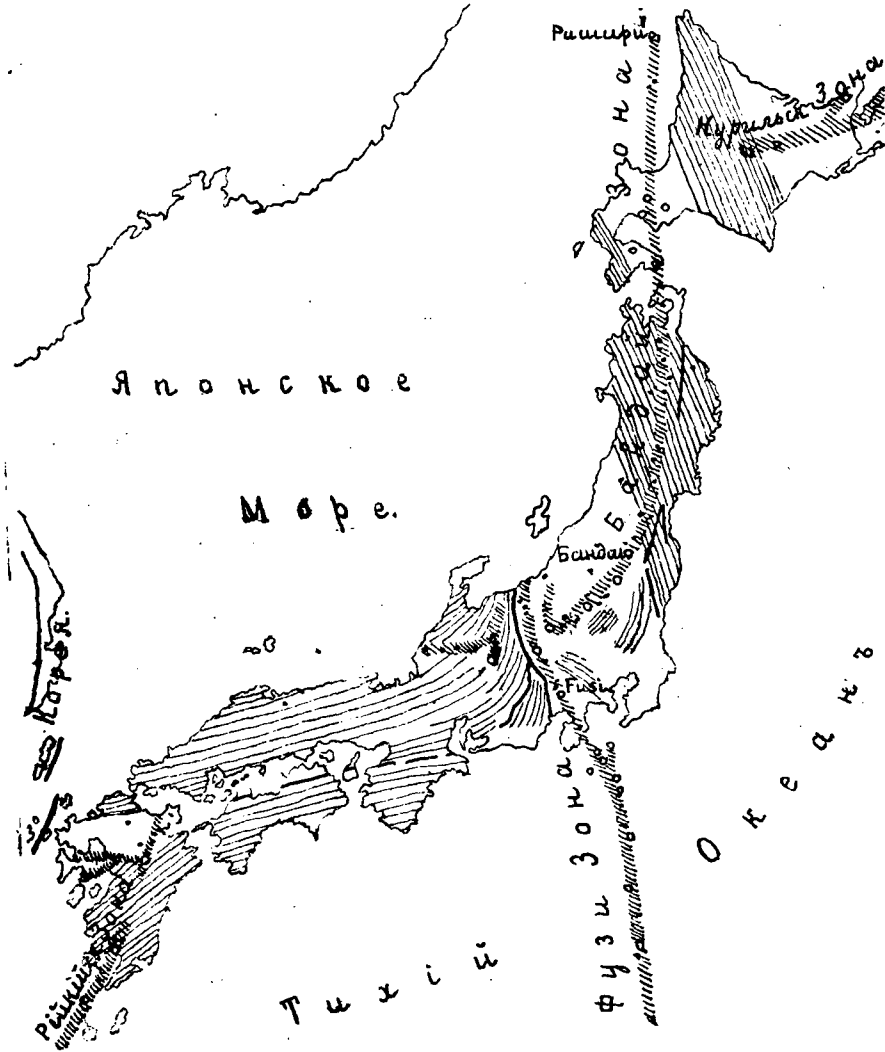
/См. рис. 4, на слѣд. стр. /.

Расположеніе Японскихъ и Курильскихъ вулкановъ служитъ примѣромъ пересѣченія вулканическихъ линій. Иногда эти линіи раздвояются, какъ Фузи-зона около береговъ Японіи, или еще лучше - на островахъ Гавайи.

Вообще нужно признать, что распределеніе вулкановъ по определеннымъ линіямъ часто дѣлаетъ довольно искусственно, противъ чего въ особенности возставалъ Штубель. Но такія крупныя особенности распределенія вулкановъ, какъ связь

ихъ съ областями опусканія, какъ связь ихъ съ Тихоокеанскимъ типомъ береговъ и областей Тихаго океана, нельзя объяснить иначе, какъ зависимость ихъ отъ тектоники.

рис. 4.



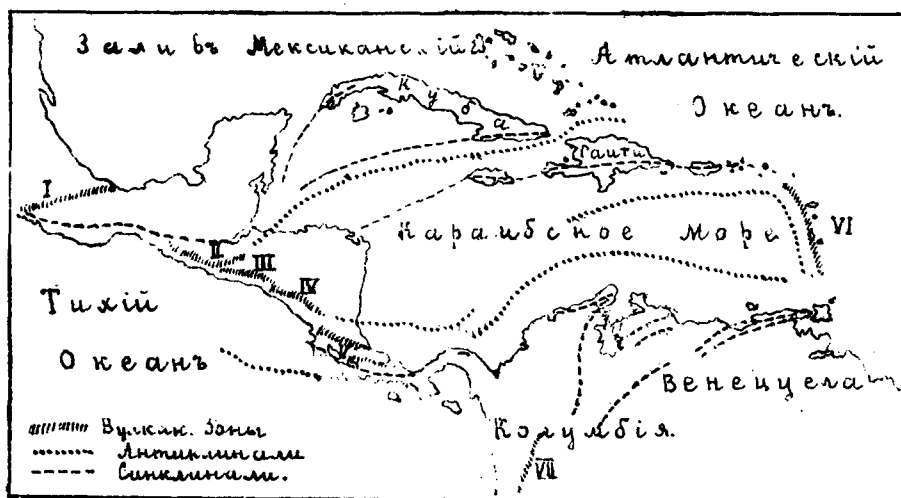
Тектоническо-вулканическая карта Японіи.

Итальянскіе вулканы расположены вдоль сбросовой линіи от Монте-Аміато до Неаполя; эта сбросовая трещина отдѣляетъ мезозойскую и третичную область Италіи отъ палеозойской, опустившейся подъ водн Тиретскаго моря. Циклады съ Санто-ринномъ представляютъ остатки суши, погружившейся и отдѣлившей Средиземное море отъ Эгейскаго. Вулканическая область экваторіальной Африки съ ея истухшими вулканами Килиманджаро, Кенія и др. / т.1, стр. 509 / расположена на колоссальномъ грабенѣ, представляющемъ сбросовую впадину /Эритрейскую/. Камчатскіе вулканы лежатъ на окраинѣ впадины, отдѣляющей Командорскіе о-ва отъ Камчатки. Все эти

факты говорят въ пользу связи вулкановъ скорѣе съ сбросовой дислокаціей.

Въ центральной Америкѣ по Вертеру поясъ вулкановъ состоитъ изъ четырехъ отдѣльныхъ линій, смѣшенныхъ другъ относительно друга къ SW .

рис. 5.



Тектоническая карта центральной Америки.

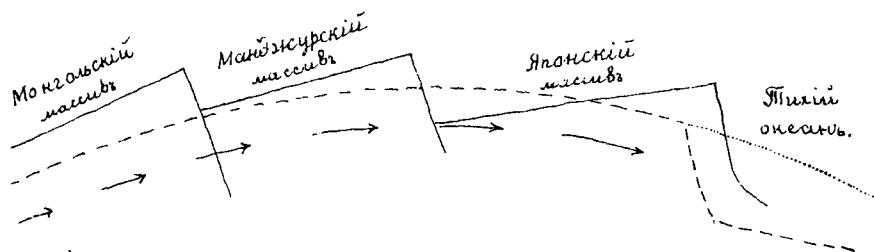
Общее расположеніе — ступенчатое, вследствие поперечныхъ разломовъ, пересекающихъ общую линію поля острыми углами и смѣстившихъ отдѣльныя части. Вся центральная Американская зона смѣщена къ S относительно Мексиканской. Каждая изъ линій расположена на продолженіи значительныхъ пониженій, обнаруживающихся въ востокѣ морскими глубинами: эти пониженія представляютъ не сбросовыя впадины, а синклинали.

Словомъ, сумма нашихъ современныхъ свѣдѣній показываетъ, что огромное число вулкановъ находится въ связи съ тектоническими причинами и это заставляетъ относиться осторожнѣе къ обобщенію теорій образованія вулкановъ дѣйствіемъ самой магмы. Магма поднимается до поверхности тамъ, гдѣ она встрѣчаетъ наибольшее сопротивленіе своему подъему, именно въ областяхъ раздробленныхъ и нарушенныхъ дислокацій. Гдѣ слои отличаются малой нарушенностью, напр. въ области русской столовой страны или на арктическихъ берегахъ тамъ нѣтъ и вулкановъ.

Крайности первыхъ представленій какъ объ активной роли эруптивной магмы, такъ и ее пассивной роли организованы и оба мнѣнія становятся другъ къ другу все ближе.

Съ перваго взгляда можетъ показаться противорѣчіемъ, что вулканы, повидимому тѣснѣе всего связаны съ областями разлома, преимущественно расположенны вдоль береговъ тихоокеанскаго типа, т.е. типа складчатого. Дѣло въ томъ, что вулканы связаны именно съ областями опусканія, сопровождаемыми образованіемъ складчатыхъ хребтовъ. Рихтгофенъ ясно формулировалъ эту мысль. Онъ видитъ въ многочисленныхъ вулканическихъ зонахъ восточной Азіи зоны раздробленія или разрыва *Reichtings - und - Zerrungszonen* вдоль окраины материка, смятаго складчатостью.

рис. 3.



Зоны раздробленія въ восточной Азіи
по Рихтгофену.

Эти зоны разрыва простираются до величайшихъ глубинъ Тихоокеана; дно котораго расположено болѣе чѣмъ на 10 км. ниже поверхности смежныхъ отломковъ, напр. Японскаго или Маньчжурскаго. Эта идея можетъ объяснить вамъ положеніе вулканическихъ зонъ вдоль береговъ, круто опускающихся къ значительнымъ океаническимъ глубинамъ. на примѣръ вдоль западнаго берега южной Америки, Калифорніи и т.д.

МЕХАНИЗМЪ ИЛИ ПРИЧИНЫ

ВУЛКАНИЧЕСКИХЪ ИЗВЕРЖЕНІЙ.

Вулканическое изверженіе выражается въ изліяніи на поверхность нѣкотораго количества расплавленной магмы, называемой лавой, въ выдѣленіи большого или меньшаго количества газовъ и водяныхъ паровъ и также различныхъ охлажденных продуктовъ - пепла, бомбъ, лапилли. Какая сила производитъ всю эту механическую работу?

Вода есть начало всѣхъ вещей, и все превращается въ воду - училъ еще Фалесъ изъ Милета, основатель греческой философіи. Вода есть активный элементъ вулканическихъ явленій - провозгласилъ впервые Спаллондани, основатель вулканологии въ 18 ст.

В о д а, к а к ъ ф и з и ч е с к і й ф а к т о р ъ.

М н ѣ н і я о х и м и ч е с к о й р о л и в о д ы.

Въ связи съ ученіемъ Ляйэля о химической природѣ процессовъ, происходившихъ внутри земли, высказалъ свой взглядъ о причинѣ вулканическихъ явленій знаменитый химикъ Г у м ф р и Д э в и, открывшій щелочные металлы. Пораженный бурной реакціей скисленія K_2O при дѣйствіи на нихъ воды, онъ высказалъ предположеніе о присутствіи внутри земли значительныхъ массъ этихъ металловъ, вызывающихъ явленія вулканическихъ изверженій при дѣйствіи на нихъ воды, достигающей до нихъ тѣмъ или инымъ путемъ. Вода можетъ достигать до нихъ только медленно и небольшими количествами, постепенно происходитъ выдѣленіе H_2 , а кислородъ окисляетъ металлы, вызывая постепенное повышение температуръ. Температура можетъ подняться до точки плавленія горныхъ породъ, а газы, именно H_2 , вызываютъ взрывы и изліянія расплавленной массы на поверхность. Дэви, бывшій свидѣтелемъ одного изъ изверженій Везувія, не открылъ въ выдѣляющихся газахъ H_2 и отказался отъ своей гипотезы. Интересно, что H_2 именно выдѣляется рѣшительно при всѣхъ изверженіяхъ и только случайно онъ не былъ открытъ Дэви, но значеніе этого газа теперь толкуется иначе. Гипотеза Дэви уже не приложима потому, что по вычисленію Фуке каждое значительное изверженіе ~~этимъ~~ потребовало бы до 7 милл. куб. мет. натрия.

Дѣлались попытки объяснить вулканическія явленія возбужденіемъ электромагнитныхъ токовъ въ землѣ подѣ влияніемъ солнца. Въ этомъ случаѣ вода также принималась во вниманіе, но равнымъ образомъ какъ химическій дѣтель. Бѣднѣнныя наблюденія надъ вулканами убѣждали, что вода играетъ роль физическую въ явленіяхъ изверженія, какъ двигатель; огромныя количества воды, выдѣляемой вулканомъ, подтверждаетъ каждое изверженіе, сопровождаемое образованіемъ облаковъ, часто разрѣшающихся страшными ливнями надъ дѣствующими вулканами. Постепенно установился взглядъ, что вода главнѣйше дѣйствуетъ физически, какъ упругій элементъ. Откуда же происходитъ эта вода?

Пр о о а ч и в а н і е / и н ф и л ь т р а ц і я / м о р с к о й в о д ы . Вѣзость вулкановъ къ берегу морей; давала, казалось естественный отвѣтъ - это вода океановъ и морей, просачивающаяся по трещинамъ и порамъ въ земной корѣ до очаговъ расплавленной магмы, гдѣ, приходя въ соприкосновеніе съ ней, она вызываетъ взрывъ и поднятіе расплавленной магмы. Возникаютъ или новыя трещины, или раскрываются старыя, и по нимъ расплавленная магма поднимается на поверхность.

Это ученіе поддерживали Гумбольдтъ, Вукъ, Винофъ и др. Гумбольдтъ отчасти допускалъ возможность проликовенія и метеорной воды. Онъ полагалъ, что давленіе паровъ воды, образовавшихся при взрывахъ, можетъ уравновѣсить гидростатическое давленіе воды моря и остановить ея свободный доступъ. Спокойное состояніе вулкановъ Гумбольдтъ думалъ объяснить временнымъ закупориваніемъ путей для просачиванія воды. Его останавливало однако, признать за водой исключительное значеніе - отсутствіе H_2 въ продуктахъ изверженія, какъ полагалъ часто до сихъ поръ, что противорѣчило необходимому предположенію о разложеніи въ вулканическомъ очагѣ большихъ массъ воды, а также присутствіе въ продуктахъ изверженія большихъ количествъ хлористыхъ соединений металловъ.

Дальнѣйшія изслѣдованія показали, что продукты изверженій заключаютъ главнымъ образомъ вещества, получающіяся при разложеніи солей морской воды, а именно $Mg, NaCl$, щелочи; это считалось однимъ изъ убѣдительнѣйшихъ доказательствъ влияния морской воды, хотя уже Гумбольдтъ обратилъ

вниманіе, что часть этихъ веществъ необходимо объяснить иначе. Казалось, что необходимо было только разрѣшить вопросъ о томъ, какими образомъ поступаетъ вода въ вулканическіе очаги. Проникла ли она къ нимъ сразу большими массами, или постепенно малыми количествами. Проникновение воды большими массами должно было имѣть слѣдствіемъ, что при соприкосновеніи еще холодной воды съ расплавленной магмой должны были происходить взрывы. Это явленіе происходитъ, если холодная вода соприкасается съ магмой при нормальномъ давленіи. Слѣдовательно, если слѣдствіемъ изверженія возникаютъ трещины, способствующія свободному доступу воды къ магмѣ, то такими образомъ происходятъ взрывы, но это будетъ слѣдствіемъ изверженія, а не причиной его. Это возможно только на небольшихъ глубинахъ, гдѣ давленіе мало отличается отъ нормальнаго; при значительномъ давленіи взрыва не будетъ.

Иное, если вода проникаетъ капиллярными путями. При все увеличивающейся глубинѣ, такое проникновение воды происходитъ въ формѣ пара /диффузія/, который абсорбируется магмой, причемъ такое поглощеніе увеличивается съ давленіемъ, пока давленіе остается въ ограниченныхъ предѣлахъ. Чѣмъ давленіе больше, тѣмъ меньше абсорбируется пара, и магма окончательно достигаетъ состоянія насыщенія. Если же притокъ пара продолжается, то газъ остается отдѣленнымъ отъ расплавленной магмы. Если давленіе еще повышается, то газъ переходитъ въ жидкое состояніе, и обѣ жидкости /газовая и расплавленная магма/ могутъ существовать отдѣльно.

Вода /по Рейеру/ при температурѣ плавленія серебра начинаетъ диссоциировать, т.е. распадаться на H_2 и O , и при 2500° при нормальномъ давленіи совершенно распадается; слѣдовательно, на глубинѣ 30 км. вслѣдствіе существующей тамъ температуръ вода частью уже разложена; высокое давленіе препятствуетъ, однако диссоціаціи воды подъ вліяніемъ высокой температуръ, и на громадной глубинѣ возможно все-таки существованіе воды необыкновенно раскаленной, но не диссоциированной.

Какъ только магма приходитъ въ состояніе изверженія, всѣ эти условія мѣняются. Давленіе уменьшается, вмѣстѣ съ нимъ его ассоциирующее вліяніе, а диссоциирующее вліяніе высокой температуръ начинаетъ снова дѣйствовать. Жидкое

состояніе переходить въ газообразное, соединенія распа-
ются на составныя части, и только въ болѣе холодныхъ час-
тяхъ вводного канала снова начинается деассоціація. Мощ-
ные удары, детонаціи, которые сопровождаютъ всякое извер-
женіе, могутъ происходить отъ дѣйствія такихъ соединеній,
напр. *О* и *Н*, соединяющихся, какъ извѣстно, со взрывомъ.

Рейеръ развилъ еще далѣе представленіе о механизмѣ извер-
женія, если допускать инфильтрацію воды. Магма вращается
вероятно равномерно водянымъ паромъ: образуются шлиры, т.е. час-
ти болѣе богатныя и болѣе бѣдныя водой. Если магма подвига-
ется вслѣдствіе того, что измѣнились условія давленія или
вслѣдствіе какихъ нибудь тектоническихъ причинъ, то шлиры
при соприкосновеніи съ болѣе холодными частями вводного
канала или даже раньше опустившимися частями болѣе холод-
ной магмы - взрываютъ; вода изъ перегрѣтаго состоянія при-
ходитъ въ газообразное. Снизу поступаетъ нѣсколько количество
магмы, но медленно. По наблюденіямъ Берга на Страмболи
пароксизмы вулкановъ дѣйствительно какъ будто происходятъ
отъ внезапнаго образованія огромнаго количества пара/см.
далее/. Но самымъ импульсомъ къ поднятію лавы и по Рейеру
должно быть или давленіе на лаву при тектоническихъ смѣще-
ніяхъ при одновременномъ уменьшеніи давленія въ какой ни-
будь части, или же увеличеніе давленія на лаву подъ вліян-
емъ паровъ, скопляющихся гдѣ либо въ сторонѣ отъ вводно-
го канала. Подземная сила газовъ и паровъ, заключающихся
въ магмѣ, начинаетъ проявляться лишь послѣ того, какъ вслѣ-
дствіе какой нибудь причины уменьшается давленіе на массу
магмы или она получаетъ движеніе по открытой трещинѣ.

Денбиш показалъ на опытѣ, что вода, несмотря на сопротив-
леніе давленія водяныхъ паровъ, возникающихъ отъ высокой
температуры, все таки просачивается черезъ горныя породы
вслѣдствіе капиллярности. Хотя опытъ былъ произведенъ все-
го при давленіи 2 атмосферы, но послѣ этого предположеніе о
непрерывномъ просачиваніи воды къ вулканическимъ очагамъ,
казалось, не могло уже встрѣтить никакихъ возраженій. Пред-
полагали, даже, что именно близость вулканическихъ очаговъ
должна способствовать просачиванію морской воды въ земную
кору.

И н ф и л ь т р а ц і я м е т е о р н о й в о д ы . Въ
такомъ видѣ ученіе о вулканическихъ изверженіяхъ встрѣчаетъ

не мало возражений. Прежде всего близость вулканов и морей, которая считается необходимым условием для проникновения воды к магмѣ, далеко не такова, чтобы всегда можно было дѣлать такое предположеніе. Для Этны и Везувія, конечно, это вполнѣ вѣроятно, но многіе вулканы отстоятъ отъ береговъ морей на сто и болѣе километровъ. Напр. Толима и Котопахси отдѣлены отъ моря по прямой линіи на 200 кл. Антизана, на 230 кл. поолѣній постоянно дѣйствуютъ, а Котопахси отдѣляетъ газообразные продукты, ничѣмъ не отличающіеся отъ таковыхъ продуктовъ Везувія или Этны. Попокатепетль, выделяющій кислые пары, отстоитъ отъ моря на 245 кл. Африканскіе вулканы Килиманджаро и Кенія отстоятъ отъ моря на 300 и 500 кл. Вулканы центральной Африки Кирунго, къ югу отъ озера Альбертъ, Эдвардъ и Телеки, южнее озера Рудольфа, отстоятъ отъ океана на 1100 и 750 кл.

Далѣе, присутствіе въ эманацияхъ вулкановъ веществъ, входящихъ въ морской водѣ, не можетъ служить доказательствомъ происхожденія ихъ непременно отъ морской воды, какъ въ этомъ сомнѣвался уже и Гумбольдтъ. Если вода достигаетъ до магмы въ формѣ пара, говоритъ Лапнаревъ, то она уже лишена содержанія солей, растворимыхъ въ ней при ея тепломъ состояніи.

З у п а в ѣ обращаетъ вниманіе, что на значительной части морскихъ береговъ вулкановъ нѣтъ; следовательно, какъ будто въ слѣднихъ мѣстахъ проникновеніе морской воды происходитъ въ другихъ мѣстахъ. Дѣлаютъ еще возраженія, что два моря покрыты плотнымъ слоемъ водонепроницаемымъ; но это справедливо скорѣе для внутреннихъ частей океаническихъ бассейновъ, а не для береговой линіи.

Вода при вулканическихъ изверженіяхъ играетъ важную роль, несомнѣнно. Если она не можетъ быть изъ моря, то, быть можетъ, это инфильтрація поверхностной метеорной воды?

Э м а н а ц і о н н а я г и п с т е з а. Абсолютно водоупорныхъ породъ не существуетъ, и инфильтрація воды не смотря на сложное строеніе земной коры допускается, но остается въ силѣ упомянутое возраженіе, что вода присоединяется къ магмѣ въ парообразномъ состояніи, следовательно лишенной растворенныхъ въ ней солей. Остается слѣ-

даль допущение, что эти вещества находятся уже въ самой магмѣ, а не присоединяются къ ней дѣйствіемъ воды. Против проникновенія воды дѣлаютъ еще одно возраженіе. /Чермакъ. Вода проникаетъ въ глубину непрерывно, следовательно, если она является причиной вулканическихъ изверженій, то эта причина дѣйствуетъ непрерывно; почему же тогда изверженія представляютъ явленія сравнительно рѣдкія и неслѣбильныя. Вулканическія изверженія должны бы происходить непрерывно, разъ гдѣ либо установилось сообщеніе поверхности съ нѣдрами, т.е. долженъ бы существовать колоссальный вулканическій круговоротъ воды, или же изверженія должны были бы происходить періодически, подъ вліяніемъ силъ тяжести, подобно тому, какъ это происходитъ въ гейзерахъ.

На основаніи этихъ соображеній Чермакъ высказалъ предположеніе, что газы и водяной паръ, вмѣляемые при вулканическихъ изверженіяхъ происходятъ изъ нѣдръ земли и представляютъ продукты, поглощенные первичной магмой изъ окружающей ее атмосферы въ періодъ огневой фазы развитія земли.

Это мнѣніе приобретаетъ все болѣе сторонниковъ и становится рабочей гипотезой. Въ особенности въ послѣднее время, когда убѣдились, что наиболѣе глубокіе рудники и буровны скважины совершенно сухи, инфильтрація воды не допускается на неограниченную глубину. Наконецъ, поднятіе магмы должно происходить съ такихъ глубинъ, гдѣ породы находятся въ состояніи не только открытой пластичности, но и въ размягченномъ, гдѣ, следовательно, инфильтрація воды совершенно не мыслима. Все эти соображенія приводятъ къ эманационной гипотезѣ, поддерживаемой съ наибольшей силой и талантомъ Зиссономъ.

Эманационная гипотеза въ изложеніи Зиссона. Все части гидросферы, океаны и рѣки, облака и осадки, онъ называетъ вадозовой водой. Вода, инфильтрующаяся, достигающая даже до значительныхъ глубинъ, чтобы подняться въ видѣ горячихъ источниковъ, — вадозовая вода.

~~Вода вулканическая и газы, отбѣляемое при, происходятъ съ~~

ОБРАЗОВАНИЕ ТВЕРДОЙ ЗЕМНОЙ КОРИ

ПО ШТОБНИЦУ.

Фиг. 1. Образование первичной (планетарной) коры отвердывания (К). При незначительной толщине такой коры, создававшей только слабое сопротивление magma, должны были происходить безчисленные излияния magma; поверхность первичной коры должна была покрываться расплавленной материей, которая magma не могла сползаться в виде мощных толщ, сколько бы было насплавляемых современных вулканических гор. Земля была окружена фотосферой (А), которая в ряде местами сильнейших извержений могла давать протуберанцы, подобные таким же явлениям в фотосфере солнца.

Фиг. 2. Стадия катастрофы. Вулканической деятельностью предшествующих периодов поверхность первичной коры отвердывания (К) образовала щитовой покров (Р). Извержения из центрального очага становятся более редкими, но вместе с тем и более напряженными. Каждое из них дает материал для колоссальных периферических очагов, заключающих в себе массы щитового покрова. В эту стадию только на многие выходы magma сохраняют связь с ядром земли, но извержения по ним ведут к необыкновенно мощным извержениям, продолжающим еще укрывать щитовой покров. После этой стадии главная разрушительная деятельность переходит к периферическим очагам. Фотосфера поддерживается только в ряде отдельных пространствах земной поверхности.

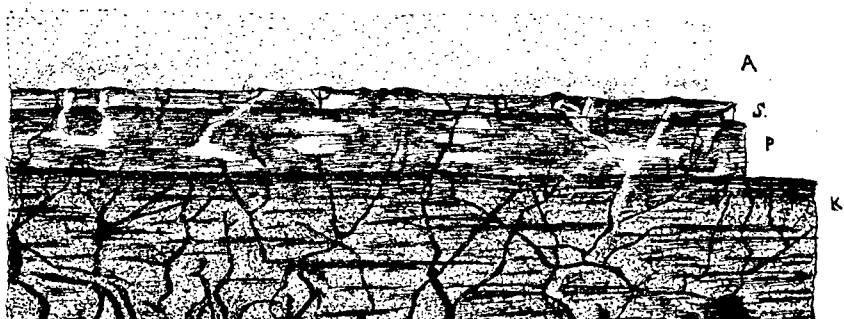
Фиг. 3. Современное состояние. Постепенное охлаждение под первичной корой отвердывания повело к совершенному прекращению связи поверхности с центральным очагом. Порода осадочная и щитового покрова подверглись разнообразному метаморфизму. Внутри щитового покрова сохранились еще остатки более древних излияний, в виде периферических очагов, которые питают незначительные вулканические конусы, расположенные исключительно на толщах осадочных пород (S), перекрывающих извне щитового покрова.



Фиг. I.



Фиг. II.



Фиг. III.

Вода вулкановъ и газы, отдѣляемые ими, происходятъ съ глубины земли и представляютъ продукты отдѣленія газовъ тѣломъ земли; такое отдѣленіе продолжается съ начала отдѣлыванія земли; и въ настоящее время происходитъ, хотя только въ опредѣленныхъ пунктахъ и по опредѣленнымъ линіямъ, но еще не закончилось. Океаны и вадозовая гидросфера получаютъ этимъ путемъ постоянный притокъ новой воды. Не вулканы питаются инфильтраціей воды морей, но моря получаютъ приращеніе дѣйствіемъ каждого изверженія.

Часть воды вадозоваго круговорота расходуется безвозвратно для экономіи природы на гидратизацію минераловъ. Если обратить вниманіе, что съ теченіемъ времени при все увеличивающемся охлажденіи земли вадозовая циркуляція становится глубже, и количество воды, удерживаемой на глубинѣ, должно все возрастать, то вѣроятно, что настанетъ время, когда вадозовая циркуляція прекратится, что земля достигнетъ состоянія лунны, на которой нѣтъ воды. Вулканы постоянно возобновляютъ нашу атмосферу новыми притоками воды и газовъ, слѣдовательно, роль ихъ въ экономіи природы можетъ опредѣляться не тѣми разрушеніями на поверхности земли, которыя вызываются изверженіями, а благотворнымъ вліяніемъ на поддержаніе равновѣсія въ расходѣ воды.

Выдѣленіе H_2O при изверженіи теперь доказано. Въ верхнихъ частяхъ выводнаго канала H_2O встрѣчается съ атмосферой и снова возникаетъ вода. Такую воду, которая какъ таковая впервые только появляется на поверхности земли, H_2O и CO_2 предлагаетъ называть **и в е н и л е в о й** /первичной/. Вся вадозовая вода была когда то лавниевой, но обратно въ такое состояніе она не можетъ превратиться.

Вмѣстѣ съ водянымъ паромъ вулканы доставляютъ HCl , SO_2 , SO_3 , Fe , H_2CO_3 . Часть этихъ веществъ осаждается въ видѣ продуктовъ возгона, напр. на стѣнахъ трещинъ, по которымъ исходятъ выдѣленіе газовъ; другія, какъ SO_2 переходятъ въ H_2SO_4 и вызываютъ пѣлѣй рядъ измѣненій въ окружающихъ породахъ. Все эти вещества представляютъ продукты отдѣленія газовъ нашей планеты. Къ нимъ могутъ быть примѣшаны и вадозовыя вещества въ ничтожномъ количествѣ, но сущность

явленія отъ этого не измѣняется, именно она выражается въ постоянной подачѣ вулканическими изверженіями веществъ изъ глубины на поверхность.

Какъ вода, такъ и другія вещества могутъ быть радозовой или ювенильной природы, и снова вулканы, подавая огромныя количества CO_2 ювенильной природы, оказываютъ большое вліяніе на экономію природы.

Доказать ювенильную природу газовыхъ продуктовъ изверженія не такъ легко. Можетъ быть только одинъ путь доказательства происхожденія водяного пара и другихъ продуктовъ вулканическаго изверженія не стѣ фильтраціи радозовой. Нужно найти въ природѣ эти вещества въ такомъ видѣ, чтобы ихъ можно было изслѣдовать съ точнѣ зрѣнія ихъ отношенія къ окружающимъ породамъ и радозовой циркуляціи. Такой формой ихъ являются рудныя и различныя минеральныя мѣсторожденія. Здѣсь намъ необходимо нѣсколько отклониться въ сторону, чтобы познаться съ газообразными продуктами вулканической дѣятельности.

Газы вулканической дѣятельности. Если вулканъ изъ состоянія /молвой дѣятельности, / такъ называемой везувіанской / переходить въ состояніе покоя, измѣняются качественно и количественно выдѣляемые изъ его жерла газы. Вулканъ продолжаетъ выдѣлять газы и пары, но они принимаютъ иной характеръ болѣе въ преобладаніи другихъ веществъ; такъ, въ состояніи покоя наибольшій перевѣсъ получаютъ /сѣрнистый газъ и сѣроводородъ, смѣшанные съ водяными парами. Такое состояніе вулкана называется сольфатарообразнымъ, по имени типичныхъ проявленій такихъ газовъ въ Сольфатарѣ въ Флегрейскихъ поляхъ близъ Неаполя; Сольфатаръ представляетъ устье выводного канала вулкана, извергающаго эти газы съ незапамятныхъ временъ. Такую же сольфатару представляетъ вулканъ въ Липарскихъ о-вахъ, выдѣляющій еще кромѣ упомянутыхъ газовъ пары бора; также многіе другіе вулканы, при чемъ эта стадія ихъ состоянія нерѣдко прерывается пароксизмами возбужденія, оканчивающимися даже изліяніями лава.

Если такихъ пароксизмовъ не возбуждается, то съ теченіемъ времени дѣятельность сольфатары ослабѣваетъ и вулканъ начинаетъ выдѣлять преимущественно CO_2 , переходя въ состояніе такъ называемыхъ мофеттъ; напр. известная Со-

бачья пещера около Пудцуси близъ Неаполя, вулканы Эйфеля, Озерны и друг. вулканическихъ областей третичнаго времени.

Мофетты представляютъ послѣднюю фазу вулканической дѣятельности, но съ прекращеніемъ ея все-таки нельзя считать вулканы совершенно потухшими. На глубинѣ въ земѣ можетъ таиться жизнь, которая снова когда нибудь проявится и на поверхности. Эти измѣненія въ родѣ и характера газообразныхъ выдѣленій вулкана во времени, обнаруживаются на одномъ и томъ же вулканѣ и въ пространствѣ.

Газообразные продукты изверженія. Газовыя выдѣленія изъ трещины свѣжей коры на потоки лавы тамъ, гдѣ лава имѣетъ наибольшую температуру, нѣтъ въ срединѣ потока или непосредственно въ жерлѣ вулкана, представляютъ безводныя эманаціи съ преобладаніемъ хлористыхъ соединений, въ особенности NaCl . Это сухія фумаролы /стр. 413, 414/, t — около 500° , т.е. плавленія Zn . Кроме хлористыхъ соединений обычно также HCl , H_2O , Ph . Фумаролы Везувія, этой категоріи, заключаютъ хлористыхъ соединений до 94,30%. Если провести эти газы на охлаждающую смѣсь при 15°C , то не получается никакихъ слѣдовъ влажности, слѣдовательно они абсолютно сухи.

Дальше отъ средины потока или дальше внизъ, гдѣ температура лавы ниже, изъ трещинъ выдѣляются иные газы — SO_2 и H_2S съ значительнымъ количествомъ водяного пара; отношеніе водяного пара и этихъ газовъ 1000:1. Сернистый газъ вслѣдствіе своего остраго запаха кажется преобладающимъ, но въ дѣйствительности отношеніе SO_2 и H_2S составляетъ 1:10.

Серѣдки также выдѣленія H_2S . Эти фумаролы называются кислыми, температура ихъ колеблется между 300° и 400° .

Еще ниже встрѣчаемъ такъ называемыя щелочныя фумаролы или амміачныя, съ преобладаніемъ хлористаго аммонія NH_4Cl , частію превращающагося въ свободный амміакъ; вмѣстѣ съ этими газами продолжаютъ выдѣляться огромныя количества водяного пара и сѣроводорода. Температуры ихъ около 100° .

Наковонецъ еще ближе къ концу лавоваго потока мы находимъ холодныя фумаролы, состояшія почти изъ чистаго водяного пара съ не болѣе какъ 5% CO_2 и H_2S при температурѣ нѣсколько менѣе 100° . CO_2 встрѣчается и раньше, уже въ сухихъ фумаролахъ.

Наконецъ въ наиболѣе холодныхъ частяхъ потока, въ теченіе очень долгаго времени продолжаютъ выдѣляться углекислыя fumaroles или мофетты.

Какъ особенный случай fumarole можно указать на выдѣленіе большихъ количествъ борной кислоты, какъ на Вулкано и какъ такъ называемыхъ с о ф ф і о н и Тосканы /Casso и Ладерелло/.

Всѣ fumaroles заключаютъ нѣкоторое количество атмосфернаго воздуха, какъ это слѣдуетъ изъ присутствія свободныхъ N и O . Въ сухихъ fumaroles отношеніе этихъ газовъ такое же какъ въ атмосферѣ воздуха, въ кислыхъ уже беретъ перевѣсъ азотъ, также какъ и въ щелочныхъ. Въ мофеттахъ это отношеніе еще рѣзче; въ нихъ только 19,4 части кислорода и 80,6 части азота.

Эти измѣненія во времени и пространствѣ въ характерѣ газообразныхъ продуктовъ вулкана не слѣдуетъ принимать, какъ появленіе однихъ веществъ вмѣсто другихъ съ измѣненіемъ характера fumarole. Скорѣе, по мнѣнію Фуке, всѣ продукты входятся уже въ самыхъ горячихъ выдѣленіяхъ, но одни изъ нихъ маскируются, подавляются, преобладаваніемъ другихъ; по мѣрѣ исчезновенія веществъ, характеризующихъ болѣе высокія fumaroles, напр. $NaCl$, который съ пониженіемъ температуры не можетъ превратиться въ газообразное состояніе, получаютъ преобладаваніе другіе, въ зависимости также отъ температуры. Въ жерлѣ вулкана и въ наиболѣе горячихъ частяхъ потоковъ лавы вода исчезаетъ потому, что водяной паръ разлагается горячими хлористыми и даже сернистыми соединеніями.

Нѣкоторые ученые полагаютъ также, что появленіе тѣхъ большихъ выдѣленій водяного пара, чѣмъ дальше отстоятъ fumaroles отъ центра изверженія, говорить въ пользу мнѣнія о присоединеніи воды къ магмѣ по мѣрѣ ея движенія къ поверхности.

Если въ жерлѣ вулкана лава останавливается и свѣжаго притока ея нѣтъ, то съ теченіемъ времени сухія fumaroles смѣняются кислыми и т.д., т.е. здѣсь замѣчается снова измѣненіе во времени.

Въ областяхъ прежняго интенсивнаго развитія вулканизма, гдѣ также и теперь проявляется вулканическая энергія, хотя и очень слабо, можно различить подобныя же фазы прояв-

ленія вулканизма.

Д о к а з а т е л ь с т в о р в е н и л е в о й п р е -
р о д н г а з о о б р а з н ы х п р о д у к т о в ы х з
и з в е р ж е н і я / п о З ю с о у /. Сѣверная Богемія по
южному подвою Рудныхъ горъ съ давняго времени знаменита
своими горячими источниками, температура частью до кипѣ-
нія. Мариенбадъ, Карлсбадъ, Теплицъ, Гисгубель и Билль
расположены вдоль сбросовой линіи, извѣстной подъ названі-
емъ богемской термальной линіи. Горы, расположенныя сѣвернѣ-
ѣе вдоль этой линіи, получили свое названіе по обилію въ
нихъ рудныхъ мѣсторожденій. Извѣстный изслѣдователь Фрей-
бергскихъ мѣсторожденій Германъ Миллеръ давно уже обратилъ
вниманіе на связь между рудными жилами и горячими источни-
ками. Различныя мѣсторожденія въ окрестностяхъ термальной
линіи представляютъ ясныя отложенія изъ горячихъ водъ и
появляются по трещинамъ и разломамъ, заполненнымъ жидкими
образованіями: другія же мѣсторожденія представляютъ
скорѣе продукты отложенія не изъ воды, а продукты возгона,
сублимаціи, или вѣрнѣе представляютъ продукты сѣверъ горя-
чихъ растворовъ и горячихъ паровъ. Послѣдній типъ представ-
ляютъ мѣсторожденія оловяннаго камня Альтенбергъ, Динвальдъ
Шлякенвальдъ и др. къ сѣверу отъ термальной линіи, и въ са-
момъ близкомъ отъ нея разстояніи. /стр. 517/.

Припомнимъ, говоритъ Зюссъ, что наиболѣе горячія фумаролы
вулкеновъ - сухія; ихъ отложенія должны имѣть видъ субли-
матовъ. Всѣ болѣе позднія, какъ кисля, т.е. сѣрнистыя и
другія сопровождаются уже водою и ихъ отложенія образуютъ
последовательныя зональныя образованія, т.е. жильныя, при
чемъ главнымъ условіемъ, опредѣляющимъ последовательность
различныхъ минераловъ въ такихъ отложеніяхъ, является рас-
творимость соединений въ водѣ.

Явленія возгона изъ горячихъ фумаролъ наблюдается очень
ясно. Повсюду около такихъ фумаролъ поверхность сосѣднихъ
массъ покрыта бѣловатымъ налетомъ *NaCl* въ сопровожденіи дру-
гихъ соединений.

Горячія фумаролы выдѣляютъ хлоръ, боръ и фторъ, т.е. лету-
чіе элементы, по изслѣдованію *Donbass* и другихъ минералов оло-
вяннокаменныхъ мѣсторожденій представляются именно такими,
которые образуются только при посредствѣ такихъ летучихъ
элементовъ - оловянный камень, турмалинъ, плавиковый шпатъ,

топазъ, черная слюда.

Также ~~В е р х а~~ и другіе показали присутствіе въ соль-фатахъ Вулкано всѣхъ элементовъ оловяннокаменныхъ мѣсторожденій: литій, олово, висмутъ, боръ, фосфоръ, мышьякъ и фторъ. Затѣмъ также мѣдь и сѣра выдѣляются изъ кратера Вулкано; следовательно на липо всѣ минералы, напр. мѣсторожденія Альтенберга или мѣдно-оловяннаго мѣсторожденія Корнвалиса.

Мѣсторожденія оловяннаго камня не простираются на значительныя глубины; большей частью уже на глубинѣ въсколькихъ сотъ метровъ въ гранитахъ они обрѣдѣютъ. Но часто во многихъ мѣстахъ замѣчено замѣщеніе ихъ съ глубиной сѣрнистыми рудами, большей частью мѣдными колчеданомъ $/\text{CuFeS}_2/$ и цинковой обманкой $/\text{ZnS}/$, часто также мышьяковымъ колчеданомъ $/\text{FeS}_2, \text{FeAs}_2/$. Это явленіе настолько постоянно, что рудоконны говорятъ о сѣрнато-оловянной шляпѣ на сѣристыхъ угляхъ.

Минералы оловянныхъ мѣсторожденій представляютъ продукты наиболѣе горячихъ фазъ образованія жилъ, предшествовавшихъ образованію сѣристыхъ соединений и отложеній изъ воды. Представителемъ наиболѣе позднихъ фазъ въ ряду явленій создававшихъ рудныя жилы, служатъ горячіе источники, которые часто и выдѣляются по руднымъ жиламъ. Большею частью это щелочные и богатые NaCl источники, часто съ обильными выдѣленіями CO_2 . Заполненіе сильныхъ трещинъ безъ доставки матеріала съ глубины нельзя объяснить боковыми выщелачиваніемъ.

На Везувіи, благодаря близости моря, возникаетъ сомнѣніе не происходитъ ли NaCl отъ инфильтраціи морской воды. Но NaCl мы встрѣчаемъ и среди материка въ водѣ источниковъ, напр. Карлсбада и др. открытыхъ подземными работами въ Рудныхъ горахъ. Вещества, доставляемая водой съ глубины представляются наиболѣе легко растворимыми, а труднѣе растворимыя, напр. металлическія соединения, остались на глубинѣ. Огромное количество свободной и связанной CO_2 въ водѣ Карлсбадскаго шпруделя надо признать вулканической природы и свидѣтельствующимъ о наступленіи послѣдней фазы вулканической дѣятельности. По присутствію въ водѣ шпруделя такихъ элементовъ какъ Cl , Fe , Zn и Pb , можно видѣть указанія

и на другія фазы, но металловъ, соотвѣтствующихъ такимъ фазамъ нѣтъ, именно олова и висмута. *S, Fe, Zn, Pb* и *Caes*, спутники сѣрнистыхъ выдѣленій на многихъ вулканахъ, находятся вмѣстѣ съ *As и Sb*

Относительно такихъ веществъ въ водѣ шпуделя, какъ *Na, K, Li, Al, Ca, Mg, Sr, Fe, Mn, Si*, которыя встрѣчаются какъ въ рудныхъ жилахъ, такъ и въ продуктахъ выдѣленія вулкановъ, можно думать, что они являются продуктами выщелачиванія изъ окружающихъ породъ, въ данномъ случаѣ гранитовъ.

Итакъ наибольшее количество веществъ шпуделя ювенильной природы. Это подтверждается еще тѣмъ соображеніемъ, что температура газовъ, поднимающихся въ вулканахъ, близка или даже выше точки плавленія большинства горныхъ породъ, и эти газы потому не могутъ происходить отъ вадозовой инфильтраціи.

Наиболѣе горячія фумаролы — сухія; водяной паръ и различные растворы принадлежатъ послѣдующимъ фазамъ.

Оловянно-каменные части надъ сѣрнистыми жильными мѣсторожденіями Рудныхъ горъ соотвѣтствуютъ фазѣ болѣе горячихъ фумаролъ, дающихъ продукты возгона; другія жильныя выполненія именно сѣрнистыя руды соотвѣтствуютъ болѣе позднимъ фазамъ; термы, продолжающія выдѣляться и послѣ по жильнымъ трещинамъ, представляютъ послѣдній слѣдъ вулканизма, также какъ и CO_2 . Эти выдѣленія отъ Богеміи до Силезіи пространственно связаны съ базальтовой зоной сѣверной Богеміи.

Горячія сухія фумаролы, давшія рудныя мѣсторожденія путемъ возгона или дающія кислые дожди Везувія и поваренную соль, напр. мѣсторожденія Альтензальца, и тѣ горячіе газы, которые сожгли на Мартиникѣ въ одно мгновеніе тысячи людей, и пѣлебныя воды Карлсбада — представляютъ, говоритъ Зюссъ, одну неразрывную пѣсь явленій — до сихъ поръ незаключеннаго отдѣленія газовъ тѣломъ земли. Это явленіе подобно явленію солнечныхъ факеловъ, или тѣмъ, которыя происходятъ при охлажденіи большой массы расплавленнаго металла.

К р и т и к а м е х а н и з м а и з в е р ж е н і я п р и п р о с а ч и в а н і я в а д о з о в ы хъ

в о д ѣ. Мы уже коснулись вопроса о томъ, можетъ ли упругость газовъ и водяного пара, отдѣляемыхъ магмой, слу-

вить движущей силой вулканического извержения. Мы уже говорили, что внезапный приток значительной массы холодной воды к вулканическому очагу и последующий взрыв возможен как следствие извержения, а не причина его. Равным образом и с точки зрения Шлера Рейера, подъемная сила газов и водяного пара не может служить импульсом извержения.

Contejean уже давно считал серьезное возражение против такого ставившего толкования механизма извержения, что упругость пара и газов являются импульсом извержения. Мы должны себе представить, что между твердой земной корой и магмой находится зона паров и газов, которые обнаруживают на магму давление, подобное давлению пара в паровом котле на ступе манометра. Следовательно, пар и газы давят не непосредственно на нижнюю часть массы магмы в выходном канале, а наоборот, на верхней поверхности; нижняя часть вводного канала опущена в магматическую зону, и пар свободно выделяется по мере их образования по выходному каналу; в этом случае трудно было бы объяснить подъем лавы действием этих паров. Но представляя себе, что скопления газов собираются где-нибудь рядом, не под нижним концом вводного канала, а где-нибудь рядом, ясным поднятие лавы по мере увеличения давления паров и давления, а поднятие по каналу, при чем нельзя отрицать и возможности первоначально взрыва в результате огромного количества скопившихся паров, но вообще сначала поднимается лава, а пар получает выход только после того, как уровень лавы опустится до первоначального положения.

Обыкновенно при извержениях сильный выход газов предшествует излиянию лавы, а не наоборот, как этого требует предположение *Contejean*'а.

Медленное и спокойное выделение лавы действительно напоминает поднятие под постоянным напором, и много *Contejean*, как увидим дальше, снова подтверждается некоторыми учеными, хотя в ином виде.

Л а п а р а в ь приводит также ряд возражений против предположения о подъеме лавы действием расширяющихся водяных паров. Пока к расплавленной лаве воздух не имеет свободного доступа, лава удерживает в себе целый ряд горючих газов, прежде всего *h₂*; это показывает, что

въ расплавленной массѣ до ея окончательнаго выхода на поверхность изъ выводного канала не можетъ происходить никакихъ окислительныхъ процессовъ. Это было бы совершенно не возможно, еслибы вслѣдствіе диссоціаціи водяного пара, постоянно въ магмѣ былъ бы притокъ кислорода, который не могъ бы оставаться вмѣстѣ съ веществами, способными къ окисленію.

Наиболѣе тѣсное положеніе относительно воды океана имѣютъ вулканы Гавайи; на нихъ совершенно не замѣчено пароксизмовъ, связанныхъ съ какими либо взрывами, также никогда не было замѣчено значительныхъ выдѣленій паровъ. Именно заѣсн нельзя отрицать прямого сообщенія вода океана съ старомъ вулкановъ по трещинамъ; такъ, неоднократно замѣченъ были подземныя изліянія лавы на *Киплаука*. При этомъ не было замѣчено никакихъ взрывовъ, а только временное повншеніе температуры воды въ морѣ и обиліе мертвой рыбы обыкновенно показывающа наступленіе такого явленія. Отсюда можно было бы заключить, что всегда, какъ только море и подземныя силы приходятъ въ соприкосновеніе, послѣднія подавляютъ первое и берутъ перевѣсъ.

Словомъ, для объясненія механизма вулканическихъ изверженій съ точки зрѣнія вліянія инфильтраціи морской воды, необходимо предполагать или давленіе опускающихся частей земной коры при ея разломахъ и смѣщеніи и одновременное уменьшеніе давленія въ какомъ нибудь направленіи, или наоборотъ, обыкновенное увеличеніе давленія на магму газовъ, скопляющихся гдѣ либо въ сторонѣ.

Механизмъ вулканическихъ изверженій съ точки зрѣнія вліянія инфильтраціи морской воды въ выводной каналъ.

Гейзеры. Въ 1871 г. нѣсколько знаменитыхъ геологовъ, во главѣ съ Зюссомъ и Гергардъ-фонъ-Ратомъ, производили наблюденія надъ изверженіемъ Везувія. Зюссъ тогда же пришелъ къ заключенію, что дѣятельность Везувія можно сравнить съ дѣятельностью Гейзера. Аналогія была такъ велика, какъ говорить Зюссъ, что Везувій можно назвать только особенной формой кипящаго источника.

Гейзеры представляютъ горячіе источники, подъ землей вода которыхъ происходитъ не подъ вліяніемъ гидростатическаго да-

всплывающая, а действие их не непрерывное, а периодическое. Это переменяющиеся, пульсирующие источники, выбрасывающие огромное количество горячей воды /съ сѣрнистымъ газомъ/ въ видѣ высокаго столба; это явленіе очень близко по своему внѣшнему проявленію къ вулканическому изверженію и обнаруживается тамъ, гдѣ вулканическія силы находятся въ потуханіи, проявляясь только выдѣленіемъ газовъ и воды.

Гейзеры обыкновенно отлагаютъ кремневую кислоту, отложенія которой образуютъ различной величины жерла вокругъ отверстія источника. Гейзеритъ, какъ называютъ этотъ осадокъ, представляетъ водный кремнеземъ, въ отложеніи котораго изъ горячей воды принимаютъ дѣятельное участіе нѣкоторые водоросли, какъ *Serpentinum*, *Colothrix* и т. п.

Исландскіе гейзеры /Мухометовъ, т. 2, стр. 262/ отлагаютъ кремнеземъ, который вымывается горячей водой изъ паллаговитовыхъ туфовъ; въ Национальномъ паркѣ Сѣверной Америки /тамъ же 260-261/ - изъ липаритовыхъ породъ. Лаппаранъ отмѣтилъ, что большая часть сольфатаръ и гейзеровъ связана съ болѣе древними предшествовавшими изліяніями кислыхъ породъ; напр. въ Флегрейскихъ поляхъ сольфатара связана съ трахитовыми лавовыми потоками. Стромболи, дѣятельность котораго очень близка къ гейзерамъ, поднимается среди мощныхъ болѣе древнихъ изліяній липарита. На Новой Зеландіи, гейзеры Таравера выдѣляются среди кислыхъ породъ. Оказывается, что дѣятельные газы сольфатаръ и гейзеровъ играли особенную роль при изверженіяхъ кислыхъ породъ, какъ извѣстно болѣе трудноплавкихъ; наоборотъ, въ областяхъ изліянія основныхъ породъ сольфатаръ и гейзеровъ нѣтъ совершенно, напр. на Этнѣ и на Гавайскихъ островахъ.

Дѣйствіе гейзера объяснено Вунзеномъ вполне совершенно. По измѣреніямъ Вунзена температура воды на различной глубинѣ была: $\begin{matrix} 85.5, & 110, & 121.8, & 124.0 & \text{и} & 126. \end{matrix}$ Точка кипѣнія $\begin{matrix} \text{а} & \text{б} & \text{в} & \text{г} & \text{д} \end{matrix}$ воды повышается съ давленіемъ столба верхней воды; если вычислить соответствующую температуру кипѣнія для тѣхъ же точекъ, то получимъ $\begin{matrix} 107, & 116, & 120.8, & 123.8, & 130 & 136 \end{matrix}$ $\begin{matrix} \text{а} & \text{б} & \text{в} & \text{г} & \text{д} & \text{е} \end{matrix}$

Слѣдовательно, нигдѣ температура не достигаетъ до точки кипѣнія, въ наиболее глубокой части не достигая необходимой температуры на 10° , а въ верхней части почти на

12°; въ средней же части эта разница очень незначительна

Положимъ теперь, что въ нижней части канала давленіе при текущемъ парѣ, который разогрѣваетъ воду, повысится не много, но настолько, чтобы приподнять весь столбъ воды на 2 метра, какъ это дѣйствительно и наблюдается передъ взрывомъ; тогда именно часть воды въ средней части канала /съ температурой 121.8 / перемѣстится въ положеніе, гдѣ точка кипѣнія всего 120.8 . Вода мгновенно превращается въ паръ и поднимаетъ весь столбъ воды надъ этой частью. При этомъ облегчается давленіе на воду нижней части, которая также взлетаетъ на воздухъ.

Объясненіе дѣйствія гейзера, если предполагать источникъ тепла въ видѣ постоянной точки нагрѣва, напр. внизу канала было бы не совсѣмъ яснымъ. Необходимо было бы предполагать, что происходитъ постоянная передача тепла снизу вверхъ, пока на самой поверхности температура не поднимется до 100° и вода на поверхности не закипитъ; тогда уменьшается давленіе на нижніе слои и они моментально закипаютъ. Но ничего подобнаго не замѣчается; температура на поверхности никогда не поднимается до 100°, какъ показали наблюденія. Для устройства необходимости двухъ точекъ нагрѣва предполагали трубу гейзера колѣнчатой. Въ дѣйствительности притокъ незначительнаго количества тепла, напр. въ видѣ горячаго пара, можетъ поднять температуру въ средней части до точки кипѣнія, или же просто притокъ воды снизу можетъ приподнять весь столбъ и перемѣститъ горизонты нагрѣтой воды. Въ гейзерахъ постоянно наблюдается выдѣленіе пузырей пара, что предшествуетъ выбрасыванію всей воды и ясно показываетъ, что источникомъ тепла является протекающей снизу перегрѣтый паръ.

Теперь изверженія гейзера стали значительно рѣже, чѣмъ во время Бунзева. Въ Національномъ паркѣ "Вѣрный старикъ"

Old Faithful извергается еще черезъ каждыя 65 минутъ. Гейзеры Новой Зеландіи /Мухкеторъ. т.2, стр. 258, 259/ были расположены въ большомъ числѣ вдоль линіи разлома въ 225 км. /на длину *Waikato* приходится 73 км./; при страшномъ изверженіи 1886г. гейзеры и озера, образуемая ими, были уничтожены. Гейзеры геологически недолговѣчны; они создаются самыми источниками благодаря ихъ стлгактей работѣ, а съ по-

вышением канала превращается въ простое горячіе источни-
ки; начальная стадія - кипящій источникъ; конечная - об-
новленный горячій.

Зюссъ разсказываетъ слѣдующее:

"Въ январѣ 1871г. въ сторонѣ отъ главнаго кратера и на 60
-70м. ниже вершины образовался другой небольшой кратеръ

Crater parasitico, какъ онъ былъ тогда названъ. Издали
онъ казался зазубриной на однообразномъ склонѣ конуса Ве-
зувія. 31марта того же года мы, проф. томъ Ратъ, нѣсколь-
ко вѣнскихъ друзей и я, стояли ясной ночью по набережной
St. Lucia въ Неаполѣ; мы могли съ несомнѣнной ясностью
наблюдать, какъ маленькій кратеръ ритмически освѣщался
черезъ каждыя 6-8 секундъ, между тѣмъ какъ въ главномъ
кратерѣ такія же ритмическія освѣщенія повторялись при-
близительно черезъ двѣ минуты. Оба мѣста изверженія та-
кимъ образомъ были въ этомъ отношеніи независимы другъ
отъ друга; но такъ какъ они оба глубже соединялись въ об-
щемъ выводномъ каналѣ, то различіе между ними могла вступ-
ять только въ верхнихъ горизонтахъ, приблизительно на
мѣстѣ отдѣленія бокового выводного канала *Crater parasitico*
и различіе ритма должно было зависѣть отъ различія въ стро-
еніи этихъ частей выводныхъ каналовъ / т.е. отъ давленія
на всапаной паръ и газа болѣе значительнаго въ главномъ
кратерѣ и менѣе значительнаго въ *Crater parasitico*."

На слѣдующій день намъ удалось достигнуть до *Crater pa-
rasitico*. Мы увидѣли, какъ расплавленная масса каждыя 6-8
секунды поднималась въ жерлъ на одинъ метръ. при этомъ
изъ кипящей массы отдѣлялись пузыри величинаю съ голову,
выбрасывавшіе на воздухъ огненные комки шлаковъ. Затѣмъ
огненная масса опускалась въ жерлъ, тотчасъ же образовы-
валось новое шлаковое кольцо, которое при слѣдующемъ из-
верженіи выбрасывалось большими снопами. Облака водяного
пара висѣли надъ мѣстомъ изверженія; чувствовалось также
присутствіе хлористаго водорода и сѣрнистаго газа. Въ об-
щемъ же это была только картина гейзера, который вмѣстѣ
съ этими перегрѣтыми газами выбрасывалъ также расплавлен-
ныя горныя породы."

При 1080° С лава Везувія, по изслѣдованію Дольтера, рас-
плавляется, при 1080° С она дѣлается мягкой. Пластическіе

комки лавы, выходящие из кратера, имѣли, вѣроятно, послѣднюю температуру, а температура кипящей лавы едва ли была значительно выше 1090° C. "Важно здѣсь не то, что въ течение 6-8 сек. температура лавы понижалась съ 1090° до 1060° такъ какъ отдѣленіе газа происходило очень быстро, но важно, что стѣнки жерла состояли даже не изъ чепца, а только изъ обломковъ той же лавы, нагроможденныхъ при первоначальномъ изверженіи, и что онѣ даже послѣ многихъ мѣсяцевъ не были оплавлены. Это заставляетъ предположить, что въ *Cratere parasitico* поднимающіеся газовые пузыри сами бы ли носителями тепла совершенно подобно тому, какъ горячіе пузыри въ каналѣ гейзера и что дѣйствіемъ этихъ газовъ, отдающихъ тепло лавѣ, она приводится въ состояніе плавленія и ритмическія движенія. Это предположеніе можетъ оправдываться также тѣмъ, что болѣе крупными вулканическими изверженіями предшествуютъ подземные удары, напоминающіе пушечную пальбу и которые можно вообще считать за свидѣтельство, что очень горячіе газовые пузыри вступили въ болѣе холодныя пространства. Глухіе удары становятся чаще, пока наконецъ первый пузырь горячаго пара не вырвется изъ кратера. Только позднѣе поднимается кипящая лава, которая тѣснѣе смѣшана съ водяными паромъ. Но откуда этотъ водяной паръ, если необходимо признать, что массы водяного пара, которая выдѣлялись изъ *Cratere parasitico*, должны происходить изъ зоны съ температурой, равной точкѣ плавленія большинства горныхъ породъ, или даже болѣе, въ которой поэтому не можетъ быть пористыхъ или трещиноватыхъ породъ и слѣдовательно вадозовой инфильтраціи".

Затѣмъ принимается, слѣдовательно, выдѣляемую при изверженіи воду происходящую непосредственно изъ магмы и уже поднимающейся изъ глубины въ видѣ перегрѣтаго водяного пара, насыщеннаго магмой; съ другой стороны часть выдѣляемой воды происходитъ и насчетъ окисленія водорода въ жерлѣ вулкана. Такъ какъ инфильтраціи вадозныхъ водъ въ глубинную зону онъ не признаетъ, то вся вода является вулканической. Лава /магма/ постепенно разгрѣвается перегрѣтымъ водянымъ паромъ и газомъ, механическая роль которыхъ въ процессѣ изверженія сводится къ пульсирующимъ поднятіямъ столба лавы и взрывамъ, какъ только упругость пара и га-

завре становится выше внешнего давления.

Роль пульсирующего кипящего источника, подобно Везувия, представляет также Стромболи в группе Липарских островов /Мухоморов, т. II, стр. 441/. Вулкан обнаруживает уже в течение тысячелетий постепенное поднятие лавы в кратер, повторяющееся через известные промежутки, хотя и неправильные: эта спокойная деятельность называется "стромболиобразной". Описание Берга посвящает эту деятельность.

"Ночью, 14 дек. деятельность вулкана отличалась необыкновенной красотой. Под Антико /древнейший кратер Стромболи/ по временам появлялся светлый столб; тумная деятельность третьего кратера, еще более громкая в ночной тишине, посылая огненные фонтаны лапилли, как если бы кто раскидывал мокрый песок. Наиболее величественно происходили теперь извержения из западного жерла. Им предшествовало сначала легкое вскипание, которое сопровождалось все усиливавшимся и затѣм снова потухающим сверканьем кратера; при этом вязкая масса огненной лавы взрывалась до краев кратера. Внезапно казалось, как будто бы огненная масса поднималась в жерло, достигала до его краев, вспучивалась вверх и со громким грохотом, который мы ожидали съ замиранием сердца, выбрасывался огненный снаряд подобный букету, которым завершался обыкновенно весь фейерверк. Иногда извержение наступало и без всякой подготовки. Глубокая тишина стояла над всей террасой, и внезапно поднимался красный огненный столб, освещавший темный склон горы безчисленным множеством огоньков, которые медленно потухали. Некоторые бомбы должны были иметь диаметр до нескольких метров: так как они выпускали еще долго красный свет". Процесс кипения, образование газовых пузырей, которых поднятие вверх и лопанье вызвало взрывы, должен происходить здесь совсем близко от поверхности, как это показывает уже существование определенных промежутков времени между отдельными взрывами."

Известно из древности, что атмосферное давление влияет на извержения Стромболи, учащая или замедляя его извержения. Стромболи поэтому считают как бы естественным барометром, предсказывающим погоду. В е р г а пришел однако

*примечание: было уже

Механизмъ изверженія по

Аррениусу.

До сихъ поръ роли воды мы приписывали только физическое значеніе. Аррениусъ рассматриваетъ ее какъ факторъ физическій и химическій. Прежде всего онъ осматриваетъ возможность вулканическихъ изверженій только подъ вліяніемъ уменьшенія давленія на магму вслѣдствіе открытія трещины. Допустимъ, что дѣйствительно отъ появленія трещины и уменьшенія давленія магма переходитъ въ расплавленное состояніе, расширяется и поднимается по трещинѣ. Вслѣдствіе этого болѣе глубокія части расплавленной массы снова подчиняются повышенному давленію и переходятъ въ вязкое состояніе. "Если бы при этомъ ничего другого съ магмой не происходило, то довольно легкоплавкая магма, находящаяся подъ относительно высокимъ давленіемъ въ самой трещинѣ, уподобляется жидкости въ сосудѣ. Вслѣдствіе охлажденія / отъ холодныхъ стѣнъ канала / магма должна отвердѣть, и вся трещина закупоривается. Никакого вулканическаго изверженія такимъ способомъ не могъ бы произойти!"

Только присутствіе огромнаго количества газоваго, въ особенности водянаго пара, вызываетъ явленія изверженія. Если вода растворена въ магмѣ и находится подъ давленіемъ не достигающимъ критическаго / наибольшее давленіе и наибольшее отрицательныя результаты. "Уменьшеніе барометрическаго давленія должно по прежнимъ представленіямъ вести къ увеличенію дѣятельности вулкана; вмѣсто этого обнаруживалось каждый разъ даже ослабленіе изверженія." Также сильное увеличеніе притока воздуха остается безъ значительнаго вліянія на дѣятельность вулкана и единственно только образованіе пара надъ кратеромъ и надъ фумаролами позволяетъ дѣлать заключенія о предстоящей погодѣ. Если проходятъ надъ кратеромъ холодные и влажные вѣтры, то болѣе образуется, какъ обыкновенно говорятъ, "дыма", чѣмъ при сухой погодѣ. Когда конденсація пара, поднимающагося изъ кратера происходитъ лишь на короткое время, и паръ снова быстро становится невидимымъ, такъ въ сухомъ воздухѣ. Усиливающіяся массы облаковъ пара въ сырую погоду позволяютъ въ то же время, какъ флигеръ, узнавать направленіе вѣтра.

большая температура, при которых жидкость может существовать рядом с паром. называють к р и т и ч е с к и м и ; для воды критическая температура 360°C , а критическое давление 200 атмосфер. /Остальды//, она должна подниматься в форму газовых пузырей. Критическое давление для водяного пара равняется 200 атмосфер и получается при глубине столба магмы в 740 м. под давлением еще воздушного столба атмосферы. На глубине 740 м. вода могла бы оставаться в жидком состоянии только при условии температуры ниже 365° , т.е. критической. Но магма вероятно имеет температуру по крайней мере 1200°C , и все количество воды, заключенное в ней под давлением 740 м., должно в парообразном состоянии выделиться на поверхность в форму газовых пузырей. Вследствие этого возбуждается внезапное уменьшение давления. /пузыри стремятся приподнять столб лавы/ магма выбрасывается вверх, подобно тому, как вода гейзеровъ, и при этом явление должно сопровождаться взрывомъ, какие действительно происходят при каждом извержении. В конце такого извержения вся вода должна снова прийти в равновесие /т.е. сверху до низу должно быть равновесие между давлением пара и весом столба./, со столбом лавы в трещине и лава постепенно затвердевает. Поэтому нового извержения на этом же месте больше не могут быть, хотя бы возникали и новые трещины.

Только постоянный приток воды к магме может объяснить непрерывное возбуждение вулканизма в течение значительного времени на том же самом месте. Это - морская вода которая просачивается к магме, расположенной на некоторой глубине под морским дном. Дно моря с своими капиллярными ходами представляет как бы перепонку, поры которой достаточно широки, чтобы пропускать жидкую или газообразную воду. Только в последнем состоянии вода может достигнуть до магмы. Так как масса расплавленных горных пород имеет температуру значительно выше 365°C критической для воды, то в твердой земной коре уже далеко выше магмы должна быть температура такой высоты. Как только водяной пар по капиллярам войдет в соприкосновение с магмой, последняя действует на него, как жидкий хлористый кальций на воду, и пар в состоянии прео-

К. Богдановичъ

одолеть давленіе гораздо болѣе высокое, чѣмъ то, которое оказываетъ на него расплавленная масса.

Вода, достигая магмы, дѣйствуетъ на нее какъ кислота, болѣе сильная, чѣмъ кремневая кислота магмы. При обыкновенной температурѣ вода имѣетъ очень слабыя кислотныя свойства; при 18° - кислотность въ 100 разъ слабѣе кремневой кислоты, следовательно вода при такихъ условіяхъ не можетъ вытѣснить кремневой кислоты изъ нерастворимыхъ силикатовъ. При повышеніи температурѣ эти отношенія мѣняются. При 300° энергія кислотности воды и кремневой кислоты одинаковы; при 1000° энергія воды въ 8 разъ сильнѣе, а при 3000° - въ 200 разъ сильнѣе энергіи кремневой кислоты. Следовательно, при температурахъ магмы и водяного пара въ моментъ ихъ встрѣчи вода дѣйствуетъ какъ сильнѣйшая кислота; происходитъ разложеніе силикатовъ, возникаютъ новыя гидратныя соединенія; кремневая кислота освобождается, также какъ и основанія; свободная кремневая кислота и основанія смѣшиваются съ неизмѣнной магмой, образуя различные кислые и основные силикаты, а прибавляющаяся вода дѣлаетъ всю эту смѣсь болѣе жидкой и ведетъ къ увеличенію въ объема. Всегда при такомъ дѣйствіи воды на магму остается вѣсколько свободной воды, которая можетъ имѣть только очень низкое давленіе /по законамъ *Raoult*/ Пока это давленіе не поднимется до величины давленія столба воды отъ уровня моря, можетъ происходить непрерывный новый притокъ воды, которая въ свою очередь разлагаетъ магму и вызываетъ увеличеніе ея объема какъ разъ на объемъ притекающей воды.

Магма, вслѣдствіе такого поглощенія воды, возрастаетъ въ объемѣ, обнаруживаетъ давленіе со всѣхъ сторонъ и стремится подняться въ сторону наименьшаго сопротивленія по выводу каналу вулкана. На этомъ пути она охлаждается, вода все болѣе теряетъ свои кислотныя свойства, кремневая кислота снова беретъ химическій перевѣсъ, вытѣсняетъ воду изъ гидратныхъ соединеній; давленіе водяного пара

возрастает - несмотря на уменьшение температуры, и как только содержащая воду части расплавленной массы достигнутъ пространствъ съ достаточно высокимъ вѣншимъ давлениемъ, слѣдовательно недалеко отъ поверхности, происходитъ взрывъ водяного пара. Можно предполагать также, что происходитъ отдѣленіе конденсированной воды, которая вслѣдствіе меньшаго удѣльнаго вѣса поднимается наверхъ и мгновенно превращается въ паръ. Такое раздѣленіе растворовъ при пониженіи температуры дѣйствительно наблюдается.

То обстоятельство, что при многихъ вулканическихъ изверженіяхъ за выдѣленіями дѣйствіями взрывовъ рыхлыхъ продуктовъ /песокъ, пепель, лапилли и т. д./ наступаетъ спокойное истечение лавы, объясняется значительнымъ охлажденіемъ магмы въ выводномъ каналѣ къ кону изверженія.

По теоріи А р р е н і у с а возможно, что магма съ тѣми свойствами, какими она налѣгаетъ ее, сама пробиваетъ себѣ путь къ поверхности въ болѣе слабыхъ мѣстахъ земной коры, не пользуясь для этого какими нибудь готовыми трещинами и часто интрузируя въ формѣ лакколитовъ.

Въ толкованіи Арреніуса вулканъ также не что иное, какъ гейзеръ. Въ обоихъ явленіяхъ водяной паръ играетъ главную роль, и оба явленія ведутъ къ изверженію воды, но въ случаѣ вулкана вода входитъ главнѣйше въ химически связанномъ видѣ. Въ обоихъ случаяхъ, если давление водяного пара внизу становится выше, чѣмъ давление верхняго столба воды въ гейзерѣ, магмы - въ вулканѣ, происходитъ изверженіе. Но въ обоихъ случаяхъ вода и содержащая воду магма находится подъ вѣннимъ давлениемъ болѣе высокимъ, чѣмъ максимальная упругость водяного пара, и поэтому изверженія не происходитъ до тѣхъ поръ, пока поднятіе воды въ гейзерѣ или лавы въ вулканѣ не достигнетъ такого мѣста въ выводномъ каналѣ, гдѣ давление водяного пара уже превышаетъ вѣннее давление. Послѣдующее изверженіе продолжается до тѣхъ поръ, пока въ гейзерѣ вода не охладится достаточно, чтобы выдержать давление вновь прибывающего пара, а въ вулканѣ пока не выдѣлится изъ магмы столько воды, что давление водяного пара уже не можетъ поднять столба лавы. Послѣ этого въ гейзерѣ водѣ начина-

еть расогрѣваться, а въ вулканич. вода устремляется въ магму и весь процессъ начинается сначала.

Если каналъ вулкана очень широкъ, то охлажденіе магмы играетъ болѣе значительную роль въ ея поведеніи; оно препятствуетъ возбужденію катастрофическихъ сильныхъ изверженій: только на поверхности лавы замѣчается кипѣніе ея отъ выдѣленія водяного пара. Въ такихъ условіяхъ вулканы Гавайи (Килауэа) и въ Исландіи /Гекла/. /стр. 466, 479

Если въ большинствѣ случаевъ изверженій водяные пары играютъ безъ всякаго сомнѣнія значительную роль, то спокойное изліяніе лавы изъ вулкановъ Гавайи всегда затрудняло считать водяные пары единственныи факторомъ подъема лавы. Впервые Д э н а пришелъ къ заключенію о необходимости признать иную независимую отъ напряженія водяного пара причину подъема; онъ видѣлъ такую причину въ выдавливаніи магмы движеніями земной коры, какъ это было затѣмъ развито С м с с о м ъ и Н р е о т в и ч е м ъ. Но къ этому мы вернемся дальше.

Теорія Аррениуса, очень совершенная въ ея физико-химическихъ основаніяхъ, страдаетъ необходимостью дѣлать допущеніе объ инфльтраціи морской воды. Теорія Аррениуса хорошо объясняетъ различія въ содержаніи кремневой кислоты въ лавахъ, происходящихъ изъ одного и того же изверженія. Аррениусъ впервые расширяетъ роль воды въ процесѣ вулканическихъ изверженій, рассматривая ее какъ факторъ не только физическій, но и химическій. Импульсомъ къ подъему магмы съ этой точки зрѣнія является не давленіе отъ опускавшихся участковъ земной коры, а увеличеніе объема магмы съ присоединеніемъ къ ней огромныхъ массъ воды.

Значеніе реакціи магмы на окружающія породы на пути ея подъема. Всѣ эти объясненія вулканическихъ изверженій совершенно игнорируютъ вліяніе магмы на окружающія ихъ породы. Впервые Ст. Менье обратилъ вниманіе на такое вліяніе, стараясь объяснить механизмъ вулкановъ не инфльтраціей метеорной воды, а дѣйствіемъ магмы на горную влажность пересѣкаемыхъ магмой толщъ земной коры. Менье очень остроумно

но опредѣляетъ вулканы, какъ аппараты, посредствомъ котораго метеорная вода совершаетъ обратное движеніе съ глубинъ земной коры на ея поверхность. Эта вода водозоннаго происхожденія, по мнѣнію Менье. Вліяніе магмы на породы, насыщенные горной влажностью, по Менье вступаетъ при паденіи значительныхъ массъ твердой земной коры въ зоны болѣе глубокія, гдѣ находится расплавленная магма и непосредственно до которой инфильтрацію водозонной воды оны не допускаетъ. Гипотеза Менье не заслуживаетъ вниманія въ ея деталяхъ, а лишь по идеѣ - реакціи между магмой и такими иначе встрѣчаемыми горными породами. Дальнѣйшее развитіе этой идеи представляетъ гипотеза Тутковского и та же идея повторяется въ новѣйшихъ гипотезахъ Армана Готье и Ванъ-денъ-Брюна.

Г и п о т е з а В а нъ - л е нъ - Б р ѣ н а и Э р т б о р н а. Готье показалъ, что всѣ горныя породы при нагрѣваніи ихъ выделяютъ газы, задержавшіеся въ ихъ порахъ и воду, но не влажность, а конституціонную воду, т.е. входящую въ составъ дѣльнаго тѣла. Количество газовъ, выделяемыхъ горными породами, по объему на 18 разъ больше объема взятой породы. Газы не только выделяются, но въ теченіе нагрѣванія и образуются изъ составныхъ частей породы, такъ какъ количество выделяемыхъ газовъ изъ одной и той же породы измѣняется. Преобладающимъ является H_2 и CO_2 ; въ нѣкоторыхъ гранитахъ они составляютъ 77% всего количества. Напр. въ гиперотексовыхъ андезитахъ вулкана *М. Рели* на Мартиникѣ; Готье нашелъ H_2 , CO_2 , CO , CH_4 , N и аргонъ.

Эртборнъ и В. денъ Брюкъ обращаютъ вниманіе, что изверженіе, начавшееся даже взрывами, продолжается болѣе или менѣе медленно въ особенности изліяніе лавы. Механическое дѣйствіе газовъ и водяного пара иногда сравниваютъ /напр. *St. Menier*/ съ дѣйствіемъ газовъ при откупориваніи, напр. бутылки содовой воды; но тамъ происходитъ мгновенный взрывъ при открытіи и быстрое прекращеніе выдѣлыванія; здѣсь же послѣ того, какъ установится сообщеніе съ поверхностью, продолжается медленное выливаніе. Явленіе протекаетъ такъ, какъ будто бы происходило медленно, но постоянное дѣйствіе давления.

Въ техникѣ проведенія артезіанскихъ колодцевъ примѣняет

ся иногда способъ извлеченія воды на поверхность посред-
ствомъ такъ называемаго воздушнаго компрессора.
Чтобы увеличить подъемъ при постоянномъ гидростатическомъ
давленіи, можно уменьшить плотность столба поднимаемой
воды, следовательно при томъ же давленіи увеличить его вы-
соту. Это достигается тѣснымъ смѣшеніемъ воды и возду-
ха, который проводится подъ сильнымъ давленіемъ въ нижнюю
часть поднимаемаго столба. Если давленіе воздуха достаточ-
ное, то происходитъ спокойное переливаніе воды черезъ
края трубы; если давленіе слабое, воздухъ выдѣляется пуз-
рыми, слегка приподнимая уровень воды въ трубѣ.

Эртборнъ и В. д. Брѣкъ прилагаютъ этотъ принципъ къ объяс-
ненію механизма вулканическаго изверженія. Постоянное дав-
леніе, по ихъ мнѣнію, магма испытываетъ отъ окружающихъ
породъ, а газы, играющіе роль воздушнаго компрессора,
возникаютъ отъ нагреванія породъ выводнаго канала на пути
перваго подъема магмы. Главную роль играетъ при этомъ не
водяной паръ, а H_2 , по мнѣнію В. д. Брѣка. Онъ вычисляетъ,
опираясь на изслѣдованія Готье, что при нагреваніи 1 куб. км
горныхъ породъ получается 7 милл. куб. метровъ газовъ, дав-
леніе которыхъ возрастаетъ съ повышеніемъ температуры и
влечетъ, подобно тому, какъ въ воздушномъ компрессорѣ,
дальнѣйшее поднятіе лавы. Онъ также придерживается мнѣнія,
что жерло вулкана — центръ окисленія. Водородъ, если бы
онъ не былъ перегрѣтъ и не былъ подъ большимъ давленіемъ,
при выходѣ изъ жерла просто загорался бы; вопреки водоро-
да несомнѣнно теперь доказаны въ вѣкоторыхъ случаяхъ.
Обыкновенно же при встрѣчѣ съ кислородомъ воздуха подъ
вліяніемъ электрическаго возбужденія, всегда проявляюща-
гося при изверженіяхъ, происходитъ соединеніе H_2 съ O , со-
провождаемое сильными взрывами и образованіемъ воды. По
вычисленіямъ В. д. Брѣка 1 куб. км. породъ можетъ дать такимъ
образомъ 4.266 000 тоннъ воды изъ водорода и 26 милл. тоннъ
конституціонной воды, следовательно, всего около 31 милл.
тоннъ.

Такимъ образомъ, нѣтъ надобности прибѣгать для объясне-
нія присутствія воды въ поднимающейся магмѣ къ инфильтра-
ціи ни морской, ни метеорной воды; она получается, какъ
слѣдствіе реакціи магмы на боковыя породы. Самое нагрева-

не горючих пород магмой может проходить вследствие нарушения равновѣсія массы земной коры, при чемъ новая масса приходятъ въ соприкосновение съ расплавленной магмой. Нарушение же равновѣсія можетъ быть не только слѣдствиемъ тектоническихъ причинъ, но и неравномѣрности распределения осадковъ, т.е. слѣдствиемъ денудации. что какъ извѣстно, кладется въ основаніе теоріи изостаза. Весь процессъ можетъ происходить очень медленно, но внѣшнее проявленіе его можетъ быть и внезапнымъ, вследствие даже случайнаго устраненія препятствія къ расширенію газовъ.

Принципъ Готье принимается такимъ образомъ съ болѣе остроуміемъ къ объясненію механизма вулканическихъ изверженій, и бельгійскій геологъ впервые связываетъ при этомъ процессы вулканизма съ процессами денудационными для объясненія постояннаго давленія на вулканическіе очаги.

Гипотеза Готье связываетъ термаль-
ныя источники съ вулканиз-
момъ. Ари. Готье 1) показалъ въ 1900г., что горячая по-
рода при накаливаніи до красна выделяетъ воду и газы,
среди которыхъ преобладаютъ CO_2 и H_2 . Эта вода не горная,
влажность, какъ полагаютъ Вишофъ и Делессъ, а болѣею час-
тью вода конституціонная, соединенная съ матеріалами гор-
ныхъ породъ. Влажность выделяется уже при $150^\circ - 200^\circ$, а
конституціонная вода только при накаливаніи до $450^\circ - 500^\circ$.

Выдѣленіе воды изъ породъ.

Отъ 150 до 200°		Отъ 200° до темпер. кр. плавленія	
Гранитъ	2,29 gr	-----	7,35 gr
Порфиръ	5,80 gr	-----	12,40 gr
Офитъ	-----	-----	15,06 gr
Дерцолитъ	-----	-----	16,80 gr

Газовъ выделяется отъ 3 до 18 разъ болѣе, чѣмъ объемъ взятой породы. Эти газы по составу тождественны газовымъ

1) Ann. G. antier, La genèse des eaux thermales et ses
rapports avec le volcanisme.
Ann. des mines, t. II, 3, 1906.

продуктамъ вулканическихъ изверженій; водяной паръ, водородъ и CO_2 , вмѣстѣ съ ними CO , метанъ $(\text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6, \text{C}_3\text{H}_8)$, окиси азота, (NO, NO_2) и углеводородовъ.

Подъ вліяніемъ тектоническихъ причинъ, разломовъ и опусканій, магма вслѣдствіе давленія опускающихся участковъ поднимается и интрузируетъ въ сторону наименьшаго давленія. Горныя породы, подвергаясь высокой температурѣ, теряютъ свою конституціонную воду, которая стремится вырваться въ перегрѣтомъ состояніи. Одинъ куб. км. горныхъ породъ отдѣляетъ при этомъ по крайней мѣрѣ 25 - 30 милл. тоннъ воды. Превращаясь въ паръ, эта вода при 100° занимаетъ объемъ въ 43 миллиарда куб. метровъ, а при температурѣ 1100° объемъ въ 160 миллиардовъ куб. метровъ. При этомъ образуется также 7 милл. куб. метровъ газа при 0° или 28 миллиардовъ при температурѣ 1100° . Слѣдствіемъ этого будетъ давленіе не менѣе 7000 атмосферъ. По вычисленію Готье давленіе газовъ и пара для полъема столба лавы должно быть около 8000 атмосферъ, если принять глубину очага вулканич. въ 40000 м. Разломы и опусканія частей земной коры, интрузія магмы по разломамъ, регрессіе горныхъ породъ, выдѣленіе водяного пара и газовъ, полъемъ внутренняго давленія - представляетъ рядъ послѣдствительныхъ причинъ и слѣдствій. Первичная причина - опусканіе участковъ земной коры на глубинѣ.

Вертикальныя перемѣщенія по сбросамъ верѣвно достигаютъ до 1000 м.; напр. дно Чернаго моря опустилось по крайней мѣрѣ на 2000 м. Объемъ опустившейся части острова «ракату» въ 1883 г. измѣряется 9 куб. км.; въ глубинахъ моря исчезла гора высотой не менѣе 800 м. Опусканіе дна Средиземнаго моря громадно; оно имѣетъ мѣстами глубины до 5000 м.

Готье ставовится въ сторону противниковъ проникновенія морской воды; горячіе соленые источники, какъ *Bonifonte*, *Fontbonne*, *Karlsbad*, *Alten-Salz* находятся въ срединѣ континента; эти воды происходятъ изъ вѣдръ земли. Воды вулкановъ не могутъ быть и метеорными; эти воды результатъ накаливанія горныхъ породъ. Эта при изверженіяхъ 1865 г. по *Fontaine* выдѣлила 2 милл. тоннъ воды въ теченіе

200 суток; это количество воды может быть выделено всего $\frac{1}{4}$ куб. км. горных пород. De launay определяет в 700000 литров в 24 часа дебит воды главных тектонических бассейнов Франции. Удельный вес воды при нагревании до $600^{\circ} - 700^{\circ}$ мог бы дать в течение года во Франции дебит в 48500 метр. в минуту.

Как только магма приподвигается под влиянием давления от тектонических причин, в контакте ее с более холодными породами возбуждается отделение газов и воды. Упругость этих газообразных продуктов постепенно возрастает; если они не имеют свободного выхода, расширяясь, они отталкивают магму и ослабляют ее контактное влияние. Окружающие породы снова начинают постепенно охлаждаться как вследствие удаления от них масс интрузивной магмы, 1) так и вследствие последующего движения газов и паров. Охлаждения несколько массы снова начинают поглощать воду в силу своего химического свойства. Материалы, слывшиеся ангидридными благодаря подъему температуры, снова начинают воду как в виде свободных эмиссий, так и в массе, газоподобных или слабее обезвоженных; постепенно снова водные эмиссии, условия, нарушенные проникновением кверху магмы. В непрерывном прогрессировании этого процесса изнутри наружу. Эти химические причины достигают зон более верхней, до которой достигают уже воды метеориты, и эта вода в свою очередь начинает перемещаться книзу. Но мы видим, что около тех масс, которые были обезвожены частью или совершенно, причина перемещения воды сверху вниз не есть сила тяжести или капиллярность, но только химическое свойство к воде веществ, дегидратированных под влиянием накаливания; это свойство гораздо более могущественный фактор, чем физические силы, которые могли бы обезпечить водное движение книзу и ее усваивание глубинными матерьялами. Для объяснения образования

1) Для подъема новых масс магмы нет на лицо достаточных условий; это наступит только при новом опускании.

и поднятія термальных источников достаточно принять роль медленной дистилляціи горных породъ глубинной области, подвергающихся то нагрѣванію, то мѣлѣйшему относительному охлажденію. Вслѣдствіе послѣдовательныхъ нагрѣванія и охлажденія такихъ массъ вода будетъ выдѣляться въ первомъ случаѣ и снова стремиться къ первоначальному равновѣсію, какъ только давленіе пара и расширеніе газовъ устранивъ магму и понизятъ температуру всей среды. Отсюда, безъ сомнѣнія, эта пульсация, наблюдаемая въ такихъ источникахъ какъ Кардсбодъ и другіе, перемещаемости въ дѣятельности гейзеровъ и вулкановъ типа Стромболи. Вслѣдствіе такого нагрѣванія и охлажденія на глубинѣ, вода, выдѣляемая изъ горныхъ породъ, также какъ и вода, возникающая изъ M глубинныхъ областей при его окисленіи на счетъ окисленныхъ веществъ, возстановляемыхъ при этомъ, — постепенно переходитъ къ верхнимъ зонамъ въ видѣ пара, конденсирующагося при охлажденіи по мѣрѣ убытія и достигаетъ поверхности въ видѣ термальныхъ источниковъ.

Такимъ образомъ, безъ какихъ либо катастрофическихъ явленій вода термальныхъ источниковъ правильно выдѣляется подобно тому, какъ постоянно выдѣляется изъ земной коры CO_2, H_2, N_2 , т.е. газы, которые возникаютъ на глубинѣ одновремени съ ней, но не сопровождаются при этомъ разрушительными явленіями въ тѣсномъ смыслѣ.

Вода, поднимающаяся до поверхности въ видѣ термальныхъ источниковъ, дѣйствуетъ на окружающія породы, минерализуется насчетъ матерьяла ихъ или прямыхъ эманаций изъ нижнихъ областей и индивидуализируется такимъ образомъ на счетъ трехъ факторовъ: 1) газовъ и паровъ, исходящихъ изъ тѣловъ; 2) состава и природы породъ, непосредственно соприкасающихся съ магмой; 3) природы тѣхъ породъ, среди которыхъ она поднимается отъ мѣста ея зарожденія до поверхности.

Что касается до внезапныхъ и мощныхъ выдѣленій пара, газовъ, пепла и лавы, т.е. настоящихъ вулканическихъ изверженій, то это представляетъ, по мнѣнію Готье, слѣдствіе только крупныхъ перемѣненій въ глубинной области земной коры, причемъ быстрое выдѣленіе газовъ и паровъ способст-

вуеть поднятiю магми по линiямъ наименьшаго сопротивле-
нiя.

Въ видѣ вулканическихъ изверженiй, эманаций металличе-
скихъ соединенийъ отъ магмы, термальныхъ источниковъ, видѣ
ленiй CO_2 , H_2 и др. газовъ устанавливается обширная циркуля-
цiя, которая съ древнѣйшихъ временъ извлекаетъ на поверх-
ность часть теллурическихъ матерьяловъ изъ наибольшихъ
глубинъ, а въ обратномъ направленiи - составные элементы
атмосферы и гидросферы, воды метеоритныя и океановъ, кисло-
родъ въ нихъ растворенный, вводятся на глубину подъ влiя-
нiемъ силъ тяжести, капиллярности и химическихъ процес-
совъ.

Эти идеи Готье снова вводятъ въ вулканическiй кругово-
ротъ вадозовую воду, но какъ элементъ, поглощаемый маг-
мой главнѣйше изъ химическихъ водныхъ соединенийъ. Эта ги-
потеза расширяетъ представленiе объ ивенилевой водѣ и
объясняетъ пульсацию термальныхъ источниковъ колебанiями
магмы; термальные источники по мнѣнiю Готье представля-
ють не конечную фазу вулканизма, какъ это считаетъ Зюссъ,
а лишь слабую степень его проявленiя, когда отсутствiе
смѣщенiй частей земной коры удерживаетъ магму въ одномъ
положенiи.

В о з б у ж д е н i е м а г м ы к ъ п о д ъ е м у
п е р е м ѣ щ е н i я м и ч а с т е й т в е р д о й
з е м н о й к о р ы .

Мы все таки постоянно возвращаемся къ необходимости пред-
положить, что первый толчекъ, или лучше сказать возбу-
жденiе (стимуль) къ подъему магмы даетъ перемѣщенiя час-
тей земной коры, оказывающiя постоянное давленiе на маг-
му, расположенную подъ такими частями. Этотъ взглядъ въ
особенности поддерживаетъ Л а п л а р а н ъ . Дѣйстви-
тельно, связь вулканическихъ областей, часто рядовъ вул-
кановъ съ линiями или направленiями наименьшаго сопротив-
ленiя въ земной корѣ, какими являются окраины континен-
тальныхъ массивовъ, остается фактомъ, съ которымъ всякая
гипотеза о вулканизмѣ должна считаться.

Л а п л а р а н ъ принимаетъ, что на глубинѣ 30 - 70 км.

твердая земная кора уже переходитъ въ поясъ матеріи очень высокой температуры. Если разламывается или собирается въ складки твердая земная кора въ ея наиболѣе слабыхъ частяхъ, то въ однихъ мѣстахъ давленіе на поясъ вещества съ высокой температурой повышается, а рядомъ, гдѣ произошло раздробленіе твердой земной коры, оно понижается. Д а п п а р а н ъ допускаетъ все-таки, что подъемъ магмы въ сторону наименьшаго сопротивленія можетъ происходить по трещинамъ. Естественно предполагать, что опустившіяся части земной коры производятъ давленіе на магматическіе очаги и заставляютъ магму выдавливаться къ краямъ часто даже именно къ высокому краю разлома. Лаппаранъ считаетъ это даже за правило, указывая на положеніе вулкановъ напр. въ южной Америки, также въ меньшемъ масштабѣ въ Исландіи. Мы видимъ, что Цики считаетъ за правило скорѣе обратное, но это разногласіе не существенно; важно, что при образованіи складокъ магма должна искать выхода въ мѣстахъ, сильнѣе всего подвергающихся этому процессу, какъ въ наиболѣе слабыхъ частяхъ, а такими часто и являются верхніе края области раздробленія. Берегъ Тихоокеанскаго типа, какъ мы видѣли, подтверждаетъ это предположеніе.

Общей причиной складчатости земной коры, съ точки зрѣнія развитія земли, необходимо считать сокращеніе ядра земли при его непрерывномъ охлажденіи и приспособленіе твердой коры къ уменьшающемуся объему ядра, слѣдовательно ея изогнутіе и складчатость.

Магматическій поясъ при такомъ сокращеніи приближается къ поверхности мѣстами значительнѣе, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ; повсюду, гдѣ онъ приближается къ поверхности болѣе всего, слѣдуетъ ожидать проявленія вулканизма. Можно вычислить, что если поверхность земли, имѣющая 510 милл. квадр. миль, сократится настолько, чтобы уменьшилась толщина магматическаго пояса на 1мм. то этого уже было бы достаточно, чтобы вызвать 510 вулканическихъ изверженій, каждое съ изліяніемъ лавы объема въ одинъ куб.км. Въ настоящее время изліянія лавы объема въ $\frac{1}{3}$ куб.км. относятся уже къ рѣдкимъ случаямъ.

Это весьма стройное представление об общности причинъ тектоническихъ и вулканическихъ процессовъ требуетъ все-таки предположенія о значительной правильности въ распространеніи магматическаго пояса. Если отвлечь вниманіе отъ главнѣйшихъ направленій расположенія вулкановъ, ясно охватывающихъ такіе пояса, какъ Тихаго океана и нѣкотораго другаго, напр. группу вулкановъ Антильскихъ острововъ, то все же обнаруживается расположеніе вулкановъ группами. Такое распределеніе плохо вяжется съ представленіемъ о правильности распространенія магматическаго пояса. Въ этомъ отношеніи естественнѣе представленіе о периферическихъ очагахъ вулканизма, какъ допускаетъ Штубель. Его оригинальные взгляды не только на исторію развитія панцирнаго покрова земли, но и на механизмы изверженія заслуживаютъ полнаго вниманія.

М е х а н и з м ъ и з в е р ж е н і я п о Ш т у б е л ю . "Строго придерживаясь Кантъ-Лапласовской гипотезы, необходимо признать причиной воіхъ вулканическихъ явленій процессъ охлажденія, который происходилъ и происходитъ сейчасъ въ огненно-жидкомъ веществѣ земнаго шара и заканчивается переходомъ этого вещества въ твердое состояніе. Съ отвердѣніемъ вещества угасаетъ вулканическая энергія: огненно-жидкая матерія, поэтому, является сама по себѣ источникомъ вулканической силы."

Необходимымъ слѣдствіемъ процесса охлажденія является, по Штубелю, временное выталкиваніе огненно-жидкой магмы изъ внутренности земли на ея поверхность; такое выступленіе частей представляетъ неоспоримый фактъ, доказанный непосредственнымъ наблюденіемъ надъ дѣйствующими вулканами, а еще болѣе надъ вулканическими образованіями многочисленныхъ не дѣйствующихъ теперь вулканическихъ горъ.

Какими физическими или химическими процессами вызывается это существеннѣйшее изъ воіхъ явленій, составляющихъ вулканическое изверженіе, именно это выдѣленіе на поверхность земли избытка количества огненно-жидкой магмы, это не можетъ быть до сихъ поръ твердо установлено, но

по всей вероятности причину этого следует искать в изменении объема, какое обыкновенно происходит при всякомъ процессѣ охлажденія. Вполнѣ обоснованнымъ Штюбель считаетъ, что съ переходомъ магмы изъ расплавленно-жидкаго состоянія въ твердое происходитъ уменьшеніе ея объема, но съ большою вероятностью можно также допустить, что въ теченіе процесса охлажденія огненно-жидкой магмы наступаетъ фаза молекулярнаго увеличенія объема, связанная съ огромнымъ и всевозрастающимъ развитіемъ энергіи. Эта фаза обуславливаетъ временное изліяніе магмы на поверхность земли. Эта фаза молекулярнаго измѣненія и является, по Штюбелю, движущей причиной механизма вулканическихъ изверженій; но къ этой причинѣ присоединяется и второй факторъ, не менѣе могущественный - чрезвычайно огромное содержаніе газовъ въ расплавленномъ веществѣ. Эти газы всякій разъ, какъ при медленномъ пробиваніи мармолъ пути къ поверхности земли наступаетъ уменьшеніе давленія на глубинную магму, производятъ настоящее вскипаніе магмы, несмотря на ея высокій удѣльный вѣсъ. Магма все болѣе и болѣе пропитывается газами. Это свойство внезапнаго вскипанія имѣетъ своимъ слѣдствіемъ съ другой стороны столь же внезапное сокращеніе объема, какъ скоро часть газовъ выдѣлится. Способность расширяться должна быть принята во вниманіе также для внутренняго строенія первичной коры затвердѣванія потому, что она проявляется каждый разъ, какъ давленіе на магматическій очагъ ослабѣваетъ; такимъ образомъ эта способность совершенно исключаетъ возможность возникновенія пустотъ внутри земли вслѣдствіе выталкиванія частей расплавленной магмы. Эта способность къ расширенію требуетъ также, чтобы находящаяся въ глубинѣ полъ неизмѣримо высокимъ давленіемъ магма обладала болѣе высокимъ удѣльнымъ вѣсомъ, чѣмъ производимый отъ нея продуктъ отвердѣванія, хотя бы плотность послѣдняго намъ казалась еще очень высокой.

Свое основное положеніе Штюбель подкрѣпляетъ слѣдующими соображеніями:

Многіе жидкости и сплавы при постепенномъ охлажденіи не обнаруживаютъ непрерывнаго уменьшенія объема, соответст-

венно пониженію температур, а наоборотъ при определенной температурѣ наступаетъ снова увеличеніе объема, несмотря на продолжающееся охлажденіе. Какъ известно вода, имѣющая наибольшую плотность при 4°C. , при дальнейшемъ пониженіи температуръ обнаруживаетъ увеличеніе объема при переходѣ изъ жидкаго агрегатнаго состоянія въ твердое.

Также давно было доказано и для расплавленныхъ массъ, въ особенности металловъ, неравномѣрный характеръ кривой ихъ объемнаго измѣненія. Равнымъ образомъ химики и металлурги знаютъ, что расплавленный висмутъ обнаруживаетъ передъ отвердѣваніемъ весьма значительное расширеніе объема. Остывшее желѣзо плаваетъ на жидкомъ желѣзѣ. Наиболее разительный примѣръ показываетъ сплавъ Р о з е 1); онъ плавится при $93,7^{\circ}$, но при нагреваніи до 44° правильно увеличиваетъ въ объемѣ, а затѣмъ до температуръ 89° снова сокращается, такъ что при этой температурѣ, когда наступаетъ максимумъ его плотности, объемъ сплава значительно меньше, чѣмъ при 0° ; но при дальнейшемъ увеличеніи температуръ происходитъ быстрое расширеніе, а послѣ расплавленія его объемъ снова достигаетъ такой величины, какъ если бы сплавъ до этой температуръ правильно расширялся, какъ между 0° и 44° .

Подобныя же явленія известны и для другихъ элементовъ; также величина измѣненія объема зависитъ отъ того, происходитъ ли измѣненіе медленно или быстро. Для стекла известно, что сокращеніе объема при переходѣ изъ жидкаго состоянія въ твердое происходитъ неравномѣрно въ теченіе процесса охлажденія, а сильнѣе всего, почти исключительно, при переходѣ массы стекла изъ жидкаго состоянія въ вязкое.

Конечно, эти явленія показываютъ не то, что происходитъ съ магмой, когда она поднимается съ глубины, но они заставляютъ насъ признать, что нельзя представить себѣ процессъ охлажденія магмы совершенно равномѣрно протекающимъ явленіемъ.

Не только явленія, совершающіяся въ глубинѣ выводного канала, составляютъ для насъ тайну, но и явленія, происходящія въ лавѣ уже на поверхности, обыкновенно трудно наблюдать и часто къ такимъ наблюденіямъ нужно относиться съ большою критикой. Тѣмъ не менѣе имѣется нѣсколько указаній

1) Розе 1878 и 1880.

что глыбы твердой лавы плавают на поверхности расплавленной, как медь на водѣ. Это явленіе могло бы служить доказательствомъ увеличенія объема магмы при переходѣ ея изъ жидкаго въ твердое состояніе.

Затѣмъ Штюбель останавливается на нѣкоторыхъ наблюденіяхъ надъ большими массами шлаковъ. Шлаки, выпускаемые изъ доменныхъ печей, по химическому составу нѣсколько приближаются къ лавамъ; въ нихъ способность отвердѣвшей коры плавать на жидкихъ шлакахъ при температурѣ нѣсколько ниже бѣлаго каленія такъ велика, что только съ значительнымъ усиліемъ можно утопить въ жидкой массѣ свободно плавающія глыбы, которыя сейчасъ же всплываютъ обратно. Штюбель не считаетъ возможнымъ объяснить это пористостью такихъ глыбъ, такъ какъ не находилъ существенной разницы въ этомъ отношеніи между структурой такихъ глыбъ и остальной массой шлаковъ послѣ ихъ отвердѣванія. Онъ приписываетъ это явленіе увеличенію объема при отвердѣваніи, вызванному отдачей тепла и связаннымъ съ этимъ молекулярнымъ перераспределеніемъ частицъ, также кристаллизацией нѣкоторыхъ химическихъ соединений, которыя при соединеніи ихъ частицъ въ минеральные индивидуумы принимаютъ объемъ болѣе значительный, чѣмъ раньше въ огненно-жидкомъ растворѣ.

Дѣйствительною причиною вулканическихъ явленій слѣдуетъ по Штюбелю, считать не столько уменьшеніе объема вслѣдствіе охлажденія тѣла земли, сколько фазу увеличенія объема. Слѣдуетъ ли за этой фазой окончательное сокращеніе объема или его увеличеніе, для ученія Штюбеля остается безразличнымъ; важно только, дѣйствительно ли въ теченіе процесса охлажденія происходитъ временное увеличеніе объема магмы или нѣтъ, затѣмъ происходитъ ли это на глубинѣ магматическаго очага, притомъ внезапно или медленно. Если дѣйствительно явленія такъ происходятъ, то несомнѣнно, что идея Штюбеля объясняетъ дѣятельность, и, какъ увидимъ дальше, строеніе вулкановъ лучше и полнѣе, чѣмъ всѣ остальные гипотезы. Естественно, поэтому, сколько споровъ за и противъ вызвала эта теорія. Главное возраженіе противъ нея это—недоказанность основного положенія

Въ особенности въсѣкія возраженія приводитъ Д ѳ л ь т е р ѣ, извѣстныи своими многочисленными изслѣдованіями надъ образованіемъ метаморфическихъ и горныхъ породъ изъ расплавленной массы.

Подтвердить экспериментальнымъ путемъ гипотезу Штробеля очень трудно. Результаты опытовъ плавленія въ лабораторіи надъ горными породами давно уже затвердѣвшими не могутъ быть, по мнѣнію Штробеля, рѣшающими для представленія о процессахъ, происходившихъ въ естественныхъ условіяхъ при первичномъ затвердѣваніи магмы, такъ какъ газы, игравшіе при этомъ значительную роль, теперь отсутствуютъ въ горныхъ породахъ (мы уже знаемъ, что это не совсѣмъ такъ: Готье, Вранъ см. дальше), и, слѣдовательно, новое переплавленіе происходитъ при иныхъ условіяхъ.

Д ѳ л ь т е р ѣ съ этимъ не соглашается, такъ какъ расплавления горныхъ породъ подобны магмѣ, а въ особенности для базальтовъ, какъ легкоплавкихъ магмъ, слѣдовательно, не задерживающихъ газовъ, различіе это наименьшее. Само собой разумѣется, что гипотеза, основаніе которой не поддается наблюденію, требуетъ въ особенности экспериментальной проверки.

Какъ и прежнія данныя о плотности горныхъ породъ въ твердомъ и сплавленномъ видѣ /опытъ Бишора, Бариса/, такъ и изслѣдованія Дольтера мало благоприятны для ученія Штробеля. Всѣ эти опыты показываютъ сокращеніе лавы при ея затвердѣваніи; что касается наблюденій надъ плавленіемъ глыбъ лавы на ея потокахъ, то разногласіе наблюденій обуславливается несомнѣнной зависимостью явленія отъ пористости самой лавы и ея вязкости. Дольтеръ въ заключеніе своихъ изслѣдованій все таки говоритъ, что въ случаяхъ отвердѣванія горныхъ породъ подъ значительнымъ давленіемъ допустима возможность въ нихъ отношеній чѣмъ тѣ, которая обнаруживаются при лабораторныхъ опытахъ, но это возможно только при давленіяхъ выше, чѣмъ давленіе соотвѣтствующее такъ называемой максимальной точкѣ плавленія /согласно опытамъ Т а м м а н н а/, слѣдовательно только на громадныхъ глубинахъ 200-300 км. 1)/см. слѣдующую стр./ Такой выводъ, конечно не подтверждаетъ положенія Штробеля, по

которому расширеніе магмы должно происходить на незначительной глубинѣ. Желательны, конечно, наблюденія и опыты, по возможности исключающіе какія бы то ни было погрѣшности, на Везувіѣ или еще лучше на Килауэа.

Въ заключеніе этого обзора гипотезъ о причинахъ вулканическихъ явленій упомянемъ еще о двухъ гипотезахъ, возникшихъ по поводу катастрофы на Мартиникѣ. Одна изъ нихъ электрическая, другая химическая.

Извѣстно, что по земной корѣ постоянно проходитъ магнитный токъ, обуславливающий явленія склоненія магнитной стрѣлки. Этотъ токъ, причина котораго вѣроятно въ дѣйствіи солнечной энергіи, распространяется не съ одинаковой скоростью, въ зависимости отъ природы и сложенія массъ, по которымъ онъ пробѣгаетъ и которыя играютъ для него

1) Предполагаемая максимальная температура плавленія для большинства веществъ достигается только при очень высокихъ давленіяхъ. Для многихъ веществъ эта точка не была достигнута даже при давленіяхъ въ 4500 атмосферъ (Тамма^н). По вычисленіямъ Готье /см. выше/ при глубинѣ вулканическаго очага въ 40000 м. давленіе необходимое для поднятія столба лавы должно быть около 8000 атмосферъ; следовательно вѣроятно выше давленія при максимальной точкѣ плавленія. Дѣлать, повидимому, пересцѣниваетъ глубину, необходимую для того, чтобы вещества отвердѣвали съ увеличеніемъ объема, а не съ уменьшеніемъ, какъ въ поверхности.

роле проводника. Возможно представить себѣ, что въ извѣстные моменты и въ опредѣленныхъ точкахъ токъ внезапно встрѣчаетъ неожиданное сопротивленіе. Въ такихъ случаяхъ его энергія можетъ измѣниться въ тепловую, слѣдствіемъ которой и будутъ явленія вулканизма. Химическая гипотеза предполагаетъ взрывы карбидовъ при разложеніи ихъ водой; о присутствіи карбидовъ въ магмѣ заключаютъ на основаніи выдѣленія горючихъ углеводородовъ, которымъ приписывали катастрофу въ Мартиникѣ, какъ оказалось впрочемъ несомнѣтельно. Интересныѣ другія химическія реакціи, возможныя въ очагѣ вулкановъ.

Муассанъ обратилъ вниманіе на присутствіе углеводородовъ въ туфяхъ, именно пеперитахъ Лималя. Эта порода во многихъ случаяхъ заполняетъ выходяе каналы потухшихъ вулкановъ. Разнымъ образомъ доказано присутствіе асфальта и нефти въ породахъ нѣкоторыхъ вулкановъ (Пюи) Оверни; недавнее буреніе въ *Riom* до 1200м. дало нѣсколько литровъ нефти. Муассанъ предполагаетъ, что послѣ скопленія дѣйствія вулкана, когда очагъ его опустится, открываются пути для всаки къ глубокимъ частямъ магмы, заключающей металлическіе карбиды; съ водой они дадутъ жидкіе и газообразные углеводороды, признаки которыхъ мы и видимъ въ туфяхъ. Окисленіе углеводородовъ даетъ угольную кислоту, выдѣленіе которой и сопровождаетъ конецъ эрунтивной дѣятельности. Возможно, что реакціи, упоминаемыя Муассаномъ, гдѣ либо и происходятъ при спокойной дѣятельности

ВУЛКАНОВЪ.

Въ окончательномъ итогѣ мы видимъ, что вопросъ о механизмѣ вулканическихъ изверженій остается въ сущности открытымъ. Изъ приведеннаго разнообразія мнѣній выясняется только все болѣе - крупная роль первичныхъ теллурическихъ продуктовъ (мвенилевыхъ); ограниченное значеніе прямой инфильтраціи воды какъ морской, такъ и метеорной; тѣсная связь рудныхъ мѣсторожденій, термальныхъ источниковъ и вулканическихъ изверженій; возможное значеніе реакцій между магмой и твердыми горными породами на ея пути изъ вѣдръ до поверхности земли.

ИЗСЛѢДОВАНІЯ ВРЮНА.

Albert Brinn *) на основаніи наблюденій на Стромболи, Санторинѣ и Везувіѣ въ 1901, 1904, и 1906 г. г. пришелъ къ нѣсколькимъ новымъ выводамъ о характерѣ вулканическихъ газовъ и ихъ происхожденіи, чѣмъ это принималось до сихъ поръ. Опредѣляя температуры плавленія различныхъ минераловъ, онъ нашелъ, что эти температуры значительно разнятся, а температуры плавленія стекловатой массы, получаемой изъ тѣхъ же минераловъ, имѣютъ температуры плавленія близкія:

кристаллы анортита	---	1500°	, стеклы его	---	1088°
" " " альбита	---	1258°	" " "	---	1050°
" " " лейцита	---	1500°	" " "	---	1100°

Слѣдовательно, не эти послѣднія температуры управляютъ кристаллизацией и влзываютъ ее. Это свойство стеклы,

*) *Quelques recherches sur le volcanisme.*

Arch. de Sciph. et natur. 1905 t. III, N° 6 и 2^e partie ibid 1907 t. III.

которое объясняет часто наблюдаемое явление, что в лавах плавают кристаллы первой фазы отвердевания, показывается, что именно расплавление стекла определяет *жидкое* состояние лавы и ее течение. По наблюдениям Брина температура лавы в жерлах вулканов в большинстве случаев колеблется около 1100°; основныи менее вязки, чѣм кислиа, в это зависитъ отъ болѣе значительнаго богатства ихъ стекломъ сравнительно съ количествомъ кристалловъ.

Въ выходящемъ каналѣ вулкана циркулируютъ газы и лава въ тѣсномъ соприкосновеніи; какъ только газы достигаютъ поверхности водородъ воспламеняется, а инертные газы, расширяясь, взрываютъ лаву и раздробленіе массы въ пепелъ, составъ котораго однороденъ съ составомъ лавы. Тѣсное соприкосновеніе газовъ и лавы заставляетъ признать, по мнѣнію Брина, что температура этихъ элементовъ одинаковая, а слѣды приводятъ къ заключенію, что моментъ выдѣленія газовъ совпадаетъ съ моментомъ расплавленія лавы, когда вступаютъ и взрывы. При плавленіи лавы въ лабораторіи газы выдѣляются часто въ такомъ количествѣ, что расплавленная масса значительно увеличивается въ объемѣ. Только очень древнія лавы и затвердѣвшія на глубинѣ не даютъ такихъ газовыхъ выдѣленій. Наблюденія надъ потоками лавы въ искусственныхъ и естественныхъ разрывахъ показываютъ, что лава, перемѣщаясь, увлекаетъ съ собой и газы, которые постепенно скопляются въ видѣ пузырей около верхней поверхности; ближе къ нижней газные пузыри, или пустоты, оставляемыя ими, все

уменьшаются и вовсе исчезают.

Лавы не представляют, следовательно, эмульсии изъ силикатовъ и газовъ, и эти послѣдніе постепенно выделяются изъ лавы самой. Крупныя бомбы продолжаютъ дымиться, т.е. выделять газъ еще долго послѣ ихъ выброса изъ жерла. Иногда большія бомбы разрываются въ воздухѣ; следовательно, газы продолжаютъ расширяться и внѣ жерла, т.е. послѣ взрыва, выброшеннаго ихъ.

Все это заставляетъ Бруна признать, что только плавление лавы вызываетъ образованіе газовъ; они заключаются въ различныхъ хмическихкихъ соединеніяхъ самой лавы.

При повтореніи расплавления и охлажденія лавы Везувія Брунъ замѣтилъ, что масса ея выделяетъ газы даже при пачтмъ расплавленіи, следовательно, реакціи образованія газовъ возобновляются при самомъ плавленіи.

Если бы газы были въ состоявіи растворенія въ магмѣ, то они должны были бы выделяться безъ остатка въ моментъ расплавления; опыты же показываютъ, что чѣмъ болѣе разогрѣвать лаву, тѣмъ выдѣленіе газовъ становится сильнѣе. Если управлять температурой, то выдѣленіе газовъ можно сдѣлать очень продолжительнымъ. Лавы и газы не представляютъ огневоводкой массы перемѣшанной съ газами; выдѣленіе газовъ есть слѣдствіе особой реакціи, начинающейся о плавленіемъ лавы и достигающей максимума только въ извѣстный моментъ.

При плавленіи лавъ (въ фумаролахъ) выделяются слѣдующіе

газы:

N и производный отъ него NH_3 /и NH_4Cl /

Cl " " " " " HCl /и $NaCl$, NH_4Cl и др./

углеводороды и ихъ производные (отъ сгорания)

Азотъ существуетъ въ лавахъ въ формѣ азотистаго желѣза или азотистаго кремнія. Присутствіе этихъ соединений было доказано Врюномъ различными приемами.

Хлоръ происходитъ отъ разложенія вещества нерастворимаго въ водѣ, вѣроятно кремнисто-хлористаго кальция. HCl въ свою очередь происходитъ отъ дѣйствія Cl на углеводородъ. Углеводороды являются источникомъ водорода для образования аммиака, соляной кислоты и источникомъ углерода для образования CO_2 . Врюнъ, оперируя и съ лавами, и съ пепломъ, показывалъ образование всѣхъ газообразныхъ продуктовъ изъ первичныхъ соединений желѣза, кремне-хлористыхъ и углеводородовъ.

Первичныя вещества (*générateurs* по терминологіи Врюна) обладаютъ двумя основными свойствами:

- 1) они представляютъ сильныя восстановители;
- 2) они выделяютъ газы, вступая въ двойное разложеніе съ сложными силикатами расплавленной лавы.

Восстановительное свойство наглядно доказывается, напр., обезцвѣчиваніемъ многихъ обидіаговъ и окрашиваніемъ въ красный цвѣтъ лавъ, какъ только эти первичные газы истощаются; черныя лапилли содержатъ еще генераторные газы, красныя уже ихъ не имѣютъ.

Расширеніе всѣхъ выделяющихся газовъ достаточно, чтобы вызвать явленія взрывовъ. По вычисленіямъ Врива иногда достаточно небольшого количества лавы, чтобы при ея расплавленіи произошелъ сильный взрывъ и, слѣдовательно, значительное изверженіе.

Вода, какъ видимъ изъ этихъ лавныхъ, не играетъ никакой роли въ вулканическихъ реакціяхъ. Свѣжія лавы Стромболи и Везувія показываютъ только ничтожные слѣды воды, однако при вторичномъ расплавленіи онѣ выделяютъ газы и даютъ явленія взрывовъ. Вода, если она и есть въ лавахъ, должна выделяться изъ нихъ при температурахъ на нѣсколько сотъ градусовъ ниже той, при которой начинается плавление и взрывъ. Изъ обсидіановъ вода выделяется уже при 300° , а при 1000° они даютъ абсолютно сухіе газы. Во время періода выдѣленія такъ называемыхъ сухихъ фумароль кратеръ вулкановъ абсолютно сухъ, тогда отлагаются на его стѣнкахъ соли сильно гигроскопическія (напр. $MgCl_2$ и сульфаты), которыя въ присутствіи воды должны были бы разлагаться.

По мнѣнію Врива бѣлая облака вулкановъ представляютъ хлористыя соединенія, а вовсе не водяные пары.

Что касается до воды, сопровождающей всякое большое изверженіе въ видѣ дождя, то она происходитъ отъ испаренія атмосферныхъ (вѣдозовыхъ) водъ въ почвѣ ближайшихъ окрестностей вулкана при его постепенномъ разогреваніи; но это не причина механизма изверженія. Если изверженіе вступаетъ быстро, конечно, все смѣшивается и трудно отличить

причину отъ сабдствій. Во всякомъ случаѣ выдѣленіе водяного пара концентрируется цѣликомъ во время первой фазы изверженія. Реакціи, указавши Арм. Готье, могутъ происходить только въ самомъ началѣ изверженія и прекращаются по мѣрѣ его развитія.

Согласно такимъ толкованіямъ можно различить слѣдующія фазы изверженія:

- 1) Отъ 100° до 825° - испареніе атмосферныхъ водъ;
- 2) при 825° - появленіе хлористыхъ паровъ (дымъ вулкана);
- 3) при температурѣ отъ 875° до 1200° - явленія взрыва; и
- 4) 1100° - средняя температура истекающей лавы.

Какъ только пароксизмы закончились, изверженіе протекаетъ съ тѣми же фазами, но въ обратномъ порядкѣ. Появленіе бѣлыхъ хлористыхъ облаковъ свидѣтельствуетъ о температурѣ въ жерлѣ близкой къ точкѣ взрыва; это критическая фаза.

Брюнъ рѣшительно отрицаетъ иверниевое происхожденіе воды, и нужно согласиться, что образованіе воды въ гипстезе Зисса, Банъ-дьеръ-Брѳка неясно, а по объясненію Арм. Готье, возможно, что это происходитъ въ началѣ и концѣ изверженія. Совершенно остается все таки открытымъ вопросъ въ чемъ же источникъ повышенія температуры и постепеннаго переплавленія лавы въ вводномъ каналѣ вулкана? Брюнъ очень доказательно разсматриваетъ явленія, протекающія въ жерлѣ вулкана и лавахъ, но основной факторъ, вызывающій всѣ эти явленія, онъ оставляетъ въ сторонѣ.

ВНЕШНЯЯ ВИДИМАЯ ЧАСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКАГО АППАРАТА -

ВУЛКАНЪ, ИЛИ ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ГОРА 1)

М е т о д њ о п р е д ѣ л е н і я г л у б и н н њ з а -
л е г а н і я о ч а г а в у л к а н ѡ. Выбѣстивше дви-
гающей силы вулканизма, такъ сказать котель всего механиз-
ма, можно толковать разнѣчные образы. Его можно пред-
ставлять себѣ какъ мощную, расположенную ниже твердой
земной коры, зону огненно-жидкой матеріи, изъ которой
черпаетъ свой матерьялъ всѣ вулканы, или же какъ локали-
зованный очагъ, частью совершенно изолированный отъ ог-
ненно-жидкаго ядра земли, частью съ нимъ еще связанный,
можетъ быть, но отдѣльный для каждаго вулкана или группы
вулкановъ. Последнее представленіе было высказываемо еще
Адамасіемъ Кирхеромъ, и въ послѣднее время научно обосно-
вывается, какъ мы видѣли. Штубелемъ въ его гипотезѣ о пе-
риферическихъ истощиваемыхъ очагахъ вулкановъ.

Мы касались уже и глубины, на которой можно предполагать
положеніе очаговъ. Вранко для мааръ области Ураха пред-
полагаетъ глубину незначительной; его предположеніе отча-
сти подтверждается незначительной величиной геотермичес-
каго градуса въ буровой скважинѣ около *Нисфенъ*. Такъ
какъ нельзя предполагать, чтобы на такой незначительной
глубинѣ былъ уже центральный вулканическій очагъ, то не-

1) Синонимомъ этихъ терминовъ служить также выраженіе
"центръ изверженія", если стать въ точку зрѣнія Штубеля,
что сущность проявленія вулканизма заключается въ очагѣ,
а не въ внѣшнихъ формахъ на поверхности земли.

обходимо допускать по крайней мѣрѣ для области Урака многочисленные, небольшие изолированные очаги. Возможно, что подобные очаги, какъ это частью допускается Штибель, а раньше говорилъ еще Пилляръ, представлять только отприски одного значительнаго центрального очага.

Ратцель также держится мнѣнія, что огненножидкія массы распределены въ твердой земной корѣ, притомъ также непревильно, какъ сами вулканы на ея поверхности; какъ можно думать, по точкѣ плавленія лавы, эти очаги находятся не глубже 40-60 км.

Дѣлались попытки выработать методы, посредствомъ которыхъ можно было бы опредѣлить глубину очага точнѣе, чѣмъ по точкѣ плавленія лавы. Lorenzo недавно предложилъ основываться на массѣ матерьяла, который первоначально долженъ былъ заполнять весь выводной каналъ, и выбрасывается при изверженіи. Этотъ матерьялъ представляется теперь на поверхности земли въ формѣ туфовъ и конусовъ изъ пепла; если мы знаемъ для опредѣленной точки изверженія количество выброшеннаго матеріала, а съ другой стороны діаметръ выводного канала, то по этимъ даннымъ можно вычислить длину этого канала и слѣдовательно глубину, до которой долженъ былъ достигнуть этотъ каналъ, чтобы соответствовать объему выброшенной массы. Для Монте-Нуово Лоренцо опредѣляетъ такимъ образомъ глубину всего въ 1248м. а для другихъ вулкановъ Флегрейскихъ полей глубины отъ 1000 до 2500м. Такъ какъ матеріалъ, падающій обратно въ выводной каналъ, остается неизвѣстнымъ и не при-

нимается во внимание, а во многих случаях онъ можетъ быть весьма значительнымъ. То точность этого метода, даже при возможности весьма точнаго опредѣленія другихъ данныхъ, невелика, тѣмъ болѣе, что иногда только самая незначительная часть матерьяла падаетъ непосредственно около выводного канала, а остальная часть подхватывается атмосферными теченіями и относится часто на очень значительныя разстоянія.

Другой методъ Лоренцо основанъ на оцѣнкѣ выкидываемыхъ вулканомъ постороннихъ массъ, именно, обломковъ горныхъ породъ, которыя отрываются поднимающейся магмой отъ стѣнъ очага и выводного канала, напр. для Везувія, породъ третичныхъ, мѣловыхъ и триасовыхъ отложений. Обломки послѣднихъ, какъ сильно измѣненныя дѣйствіемъ огненно-жидкой массы, онъ принимаетъ за оторванные непосредственно около вулканическаго очага. Вся свита этихъ отложений можетъ имѣть здѣсь мощность около 3000 м., и на такой глубинѣ долженъ быть очагъ Везувія.

Если о двигающей силѣ вулканизма и о глубинѣ очаговъ существуютъ различныя мнѣнія, каждое изъ которыхъ имѣетъ и за и противъ себя много соображеній, то казалось бы что относительно собственно вулкана, т.е. части всего механизма, находящейся уже на поверхности земли, не должно бы существовать разногласій. Къ сожалѣнію и въ этомъ отношеніи далеко не все достаточно ясно.

Ф о р м ы в у л к а н о в ѣ и с л а г а ю щ і й и х
м а т е р і я л ѣ . Терминъ "вулканъ" применяется къ та-

кими горами конической формы, которые сложены пѣликомъ или частью изъ изверженнаго матерьяла, а на вершинѣ или въ боку которыхъ происходитъ постоянно или временно отдѣленіе горячихъ водяныхъ паровъ, газовъ, пепла и шлаковъ или расплавленнаго матерьяла - лавы. Иначе говоря, вулканомъ называють гору, которая связана съ нѣдрами земли посредствомъ такъ называемаго выводнаго канала. Дѣйствующіе теперь вулканы далеко не даютъ представленія о полномъ типѣ вулканической дѣятельности, т.е. о всѣхъ явленіяхъ, связанныхъ съ однимъ изъ такихъ выводныхъ каналовъ. Нормальнымъ типомъ изученной вулканической дѣятельности является послѣдовательность изверженій или пароксизмовъ.

Первый эффектъ при возникновеніи новаго вулкана или при началѣ каждаго пароксизма - выражается въ томъ, чтобы найти выходъ для газовъ черезъ земную кору. Напряженіе газовъ можетъ открыть силой взрыва путь къ поверхности въ видѣ центрального канала, или же это напряженіе разрѣшается при посредствѣ готовой щели или трещины, черезъ которую и происходитъ выдѣленіе газовъ и другихъ продуктовъ изверженія. Въ первомъ случаѣ кругомъ центральнаго отверстія выводнаго канала располагается выброшенный матерьялъ въ видѣ болѣе или менѣе конусообразной горы, во второмъ случаѣ, въ особенности если трещины много на значительномъ пространствѣ, черезъ нихъ происходятъ выдѣленія лавы причемъ можетъ и не возникнуть никакой горы

въ тѣсномъ смыслѣ; такого типа изверженія происходятъ, напр. въ Исландіи, въ Новой Зеландіи. Образуются только удлиненныя крестовидныя отложенія лавы или лавовые покровы. Слѣдовательно, наиболѣе существенной вѣтвей частью машины служить выводной каналъ.

Только во время изверженія онъ остается открытымъ; при окончаніи каждаго изверженія онъ закрывается опускающейся обратно лавой и выброшенными массами.

Разсмотримъ отдѣльно формы вулканы возникающихъ на различныхъ формахъ выводныхъ каналовъ. Сначала при центральныхъ изверженіяхъ.

Центральныя изверженія. Въ маорахъ, діатремахъ мы познакомились съ первичной формой отверстія выводного канала - именно воронкой. Такая воронка сохраняется въ видѣ маоры, если послѣ прорыва эруптивной энергіи не послѣдуетъ достаточнаго изверженія продуктовъ. Въ наиболѣе чистомъ видѣ это есть углубленіе, окруженное валомъ изъ обломковъ прорванныхъ породъ. Слѣдовательно, изверженіе можетъ создать и отрицательныя формы рельефа, впадины, а не только положительныя. Если послѣдуетъ изверженіе рыхлыхъ и жидкихъ продуктовъ, то происходитъ образованіе конуса, размѣры котораго зависятъ отъ характера продуктовъ и характера самого изверженія. Независимо отъ различныхъ варіацій коническая форма сохраняется постоянно. Вулканы конической формы часто называютъ Везувіальными типомъ. Коническая форма обуславливается тѣмъ, что изверженный матеріалъ располагается

кругомъ отверстія выводного канала. Въ большинствѣ случа-
евъ вершина конусовъ усѣчена и представляетъ впадину -
чашеобразную или котлообразную. Эту впадину называютъ
кратеромъ /отъ слова чаша /. На днѣ ея находится устье
выводного канала. Незначительные вулканы, какъ Монте-Нуо-
во (т1 стр415) состоятъ изъ одного конуса, чаще они пред-
ставляютъ значительную гору съ пѣлой массой меньшихъ бо-
ковыхъ конусовъ и боковыхъ трещинъ, черезъ которыя проис-
ходили и происходятъ изверженія, напр. Этна. Нѣкоторые
вулканы не имѣютъ кратера, а изверженіе происходитъ че-
резъ боковую трещину. Кратеръ не есть слѣдовательно, су-
щественная часть вулкана.

Конусъ возрастаетъ послѣдовательными отложеніями пепла,
лавы. Склоны становятся круче и возникаетъ та
стройная форма, которой наблюдатель поражается въ нѣкото-
рыхъ случаяхъ (гора Эримонта). Наиболее крутые склоны изъ
шлаковъ - 35° - 45° , т.е. изъ матерьяла, выброшеннаго еще
въ вязкомъ состояніи и который обладаетъ извѣстной связ-
ностью. При туфахъ, т.е. рыхломъ матерьялѣ, смѣшанномъ съ
водой - 15° - 30° . Лавы, т.е. жидкіе продукты даютъ склоны
не болѣе 10° крутизны. Если вязкость лавы (кислой) очень
велика, то возникаютъ колоколообразныя формы (напр. мно-
гіе конусы Оверни) /стр. 477./ Конусы, сложенные изъ од-
ной категоріи матерьяла рѣдки; чаще они сложены изъ смѣ-
шанныхъ различныхъ категорій, причемъ съ высотой конуса
возрастаетъ плотность слагающаго матеріала. (Наклонное по-
ложениіе слоеобразныхъ массъ лавы, которая распространя,

лась въ жидкомъ состояніи, слѣдовательно стремилась образовать потоки, затрудняло прежнихъ изслѣдователей объяснить форму вулканическихъ процессовъ накопленія. По теоріи кратеровъ поднятій, массы лавы были приведены въ наклонное положеніе послѣ ихъ отвердѣванія и на такомъ наклонномъ основаніи уже отлагались послѣдующіе продукты. Уголъ наклона лавовыхъ массъ не такъ великъ, какъ думали раньше, и вслѣдствіе вязкости шлаковъ и лавъ они могутъ удерживаться даже на довольно крутыхъ склонахъ. На днѣ кратера обыкновенно надъ устьемъ выводного канала поднимается конусъ изверженія б о к к а, одинъ или нѣсколько /вслѣдствіе развѣтвленія выводного канала/ (стр. 421).

Размѣры кратера измѣняются отъ ничтожныхъ до нѣсколькихъ км. /стр. 418-419/ Кромѣ главного, различаютъ еще кратеры боковые, паразитическіе, напр. на Этнѣ, боковой кратеръ на Тенерифскомъ пикѣ. При послѣдующихъ взрывахъ можетъ быть разрушена не только часть конуса изверженія, но и средняя часть почвы (дно) кратера. Если среди образовавшейся воронки возникаетъ новое дно кратера, то оно окружено остатками стараго въ видѣ террасъ, поднимающихся надъ дномъ кратера. Такое явленіе можетъ повториться нѣсколько разъ, и возникаетъ террасовидный кратеръ, напр. на Вулканѣ (въ группѣ Линарскихъ острововъ). При постепенномъ возрастаніи конуса изверженія и поднятіи дна кратера (при спокойномъ длительномъ изверженіи), вершина конуса изверженія можетъ подняться выше краевъ кратера (Везувій) /стр. 428/. Наконецъ дно кратера поднимается

въ условіи съ кровни, такъ, на Стрѣльцо cratera *Francis del Lago* подъято въ видѣ шита надъ краями.

Кратеръ, какъ центръ дѣловія изверженія, поведетъ се наибольшимъ измѣненіемъ сравнительно съ другими частями вулкана, напр. измѣненіе cratera Везувія. (стр. 121, 123)

Вулканы конические, т.е. Везувіальнаго типа, по характеру слагающаго матеріала можно раздѣлять на простые и сѣпанные. Простые - на конусы туфовые, вообще изъ рыхлыхъ породъ, и лавовые - изъ жидкихъ.

Среди простыхъ можно различить еще составленные изъ продуктовъ невулканической природы, напр. нѣкоторые ~~незначительные~~ конусы Эйфеля и Оверни. Рыхлый вулканический матеріалъ образуется отъ дѣйствія газовъ и водяного пара на лаву; они срываютъ куски ея, расплющиваютъ, увлекая къверху. Наиболее тонкій матеріалъ называютъ вулканическимъ пепломъ и пескомъ, болѣе грубый - съ горошину и болѣе лапилли, а крупный, иногда обломки громадныхъ размѣровъ - бомбами. Этотъ матеріалъ мѣняется въ теченіе одного изверженія, а иногда остается однообразнымъ въ теченіе ряда изверженій. Пепелъ и песокъ представляютъ, какъ мельчайшія части стекла, такъ и кристаллическіе минералы. Природа ихъ одинаковая съ природой лавы. Отдѣльные кусочки ихъ имѣютъ вогнутую поверхность, слѣдовательно представляютъ части лавы, окружавшей тончайшія пустоты или поры въ ней. Если этотъ матеріалъ падаетъ на землю смѣшаннымъ съ горячими газами, температура его можетъ быть очень высока, какъ было на Мартиникѣ. Лапилли имѣютъ круглую или угловатую

форму, плотные или пористые. Въ нихъ часто замѣчаются хорошо образованные кристаллы крупныхъ размѣровъ, крупнѣе, чѣмъ въ лавѣ, слѣдовательно, они происходятъ изъ лавы уже отвердѣвшей при ея раздробленіи газами и паромъ.

Шлаки - куски комковатые, похожіе на пережженный кирпичъ; это части лавы, затвердѣвшей уже на поверхности при устьѣ выводного канала на открытомъ воздухѣ. Они отдѣляются отъ лавы при взрывѣ газовыхъ пузырей. Они падаютъ или обратно въ кратеръ, или на склоны вулкана, слипаясь и способствуя наибольшей крутизнѣ склоновъ.

Бомбы (стр. 435-436) куски лавы изъ выводного канала, округленной эллиптической формы или плоской отъ нѣсколькихъ куб. деймовъ до нѣсколькихъ куб. футовъ. Онѣ снаружи плотныя, а внутри пористыя; иногда полны внутри, или образованы изъ лавовой скорлупы, окружающей кусокъ порола. Бомбы вулканическія глыбы (стр. 437) представляютъ отторженцы не вулканическаго происхожденія или глыбы равнѣе затвердѣвшихъ частей выводного канала. Природа ихъ даетъ возможность судить о составѣ основанія вулкана и стѣнъ выводного канала. Напр. на Санторинѣ были выброшены глыбы гранита; въ туфахъ Соми Везувія - известняки. При самомъ отложеніи уже происходитъ сортировка рыхлыхъ продуктовъ. Безпорядочныя накопленія ихъ въ видѣ несло-

Листъ 7-ой. Лекція по геологіи. Проф. *К. Богдановичъ*

отаро накопленія преимущественно крупнаго рыхлаго матеріала, называютъ агломератами; если форма матеріала округленная и слоистая, благодаря сортировки водой, ^{- или} называютъ вулканическими конгломератами. Тонкій слоистый матеріалъ изъ песка, пепла, лапилли, называютъ туфами. При выпаденіи въ два бассейновъ они могутъ заключать и органическіе остатки, давая возможность опредѣлить время изверженія; такіе осадки называютъ туфогеновыми.

Въ зависимости отъ напряженія и продолжительности изверженія около отверстія выводного канала образуется кольцевое нагроможденіе рыхлаго матеріала, различной высоты и мощности. Въ нѣсколько дней можетъ быть нагромождена такимъ образомъ цѣлая гора. Въ сент. 1588г. въ четыре дня была насыпана гора Монте-Нуово высотой 134м. /стр. 415/ также на Этнѣ - Монте-Росси - высотой около 300м. Хроник^и говорятъ о такихъ быстрыхъ нагроможденіяхъ вулканическихъ горъ, напр. Хорулло въ Мексикѣ (1759г.) /стр. 414/ и Изалько въ Сальвадорѣ (въ концѣ 18 ст.).

Шлаковые вулканы Гики называютъ типомъ Ции. Въ Оверни, откуда происходитъ названіе типа, можно видѣть его самыя разнообразныя измѣненія; это происходитъ отъ послѣдующаго изліянія лавы и разрушенія горы огненнымъ потокомъ. На оушѣ простыя конусы изъ рыхлаго матеріала могутъ быть только изъ пепла или шлаковъ; туфовые - происходятъ только при изверженіяхъ на днѣ моря.

Смѣшанные конуса Гики называютъ типомъ Везувія; (стр. 47) другіе авторы называютъ этотъ типъ слоистыми вулканами.

(страто-вулканы), по Зеебаху. Они образованы болѣе или менѣе правильно чередующимися массами вязкихъ и жидкихъ продуктовъ (стр. 441) Собственно пепловые конусы отличаются очень правильной слоистостью съ перекладьями и залеганіемъ, т.е. паденіе слоевъ во всѣ стороны отъ центра, напр. Монте-Нуово, многіе вулканическіе конусы Эйфеля и Оверни (стр. 474-475) / Лавовые конусы въ чистомъ видѣ болѣе свойственны были третичному времени. Къ такимъ также относится образованіе конуса Георгіоса на Санторинѣ. Наиболее замѣчательный примѣръ этого типа представляютъ вулканы Гавайи. (стр. 479) и въ Исландіи. Этотъ типъ характеризуется очень плоской формой купола, часто очень высокого, напр. (Мауна-Лоа, образованнаго лавой очень жидкой въ расплавленномъ состояніи и почти совершенно безъ участія вязкихъ продуктовъ.

Мауна-Лоа имѣетъ высоту 13 т. ф.; кратеръ - шириной до 3 км края его поднимаются на 700' надъ уровнемъ. Склоны вулкана очень пологи - 6° (отъ 3° до 10°). Кратеръ не имѣетъ воронкообразной формы, а образуетъ колоссальную плоскую котловину впадину въ вершинѣ вулкана; стѣны ея отвѣсны и съ явными террасовидными уступами; никакого конуса изверженія нѣтъ. Лава Мауна-Лоа и Килауэа отличается очень малымъ присутствіемъ паровъ и нелзя приписывать образованіе террасъ послѣдующимъ взрывамъ, а скорѣе послѣдовательнымъ проваламъ. На днѣ кратера Килауэа находится знаменитое озеро расплавленной лавы, среди лавовой равнины.

Указанныя [слова] [указаны] не ограничивают принадлежности только современнаго времени или новейшаго геологическаго періода; онѣ повторяются и въ древнія геологическія эпохи какъ показали Гики для британскихъ острововъ. (см. объ этомъ дальше, въ параграфѣ о вулканическихъ породахъ).

Одновременно съ образованіемъ вулкана начинается и его разрушеніе подъ вліяніемъ эрозіонныхъ процессовъ. Какъ только вулканъ изъ состоянія полной дѣятельности переходитъ въ состояніе солѣтатарообразное, дѣятельность его становится болѣе разрушительной, чѣмъ созидатель, такъ какъ газы и водяные пары дѣйствуютъ разрушительнымъ и разлагающимъ образомъ на массы, слагающія вулканическую гору. Подъ вліяніемъ атмосфералій она начинаетъ постепенно разрушаться; вода промываетъ на ея склонахъ ущелья и тѣсныни, и съ теченіемъ времени вмѣсто вершинъ, поднимавшейся гордыни небу, остаются лишь руины вулкана въ видѣ окруженной высокими отѣнами котловины, такъ называемой *кальдеры*, которая открывается наружу однимъ или нѣсколькими ущельями, такъ называемыми *орава-ко-самни*. (стр. 426, 425). На сторонѣ вулкана, подвергающейся дѣйствію влажныхъ вѣтровъ, размываніе сильнѣе. (стр. 422, фиг. 479) Также постоянные вѣтры способствуютъ отложенію рыхлыхъ продуктовъ на одной сторонѣ и вызываютъ асимметричное строеніе. Кальдера можетъ возникнуть и другимъ путемъ, нап. какъ слѣдствіе взрыва или провала.

Если послѣ вѣкового молчанія вулканической дѣятельности подземная сила снова пробуждается въ томъ же мѣстѣ и, какъ

это часто случается, проявляется взрывомъ, то взлетаетъ на воздухъ значительная часть горы; обширныя пространства кругомъ покрываются обломками прежней горы. Къ такимъ взрывамъ относятся изверженія Кракатау въ 1883г. (стр. 47 472-473), также Вандай-занъ въ Японіи въ 1888г., который пробудился къ новой дѣятельности, не проявляемой имъ на памяти человѣка. Во время изверженія Вандай-зана почти не было выброшено матеріала съ глубины, или во всякомъ случаѣ очень мало; было лишь взорвано болѣе 1218 милл. куб. мет. матеріала самой горы; при изверженіи Кракатау, напротивъ, было выброшено много пепла и шлаковъ въ видѣ пемзы. Пепель падалъ на пространства радиуса не менѣе 500 км. и вся масса раздробленнаго матеріала измѣряется 18 куб. км. Столбъ пепла и паровъ поднялся на высоту до 30000 м.; тончайшій матеріалъ былъ подхваченъ на этой высотѣ воздушными теченіями и былъ отнесенъ два раза вокругъ всей земли, вызывая продолжительно явленія кровавыхъ сумерокъ. Катастрофа Кракатау относится къ величайшимъ такого рода въ историческое время; двѣ трети острововъ Кракатау были уничтожены, и на ихъ мѣсто распространилось довольно глубокое море; часть вулкана замѣнилась глубокимъ проваломъ. Такіе разломы вулканическихъ горъ при возбужденіи ихъ дѣятельности не представляютъ рѣдкихъ явленій, и во всегда при этомъ древній конусъ взлетаетъ на воздухъ. Такіе разломы или пояса проваловъ на мѣстѣ прежнихъ вулканическихъ горъ въ е д ж а доказываютъ для Липарскихъ о в напр. для Стромболи. П у л а - О к р о п ѣ предполагалъ

что при новомъ возбужденіи дѣятельности этого вулкана часть прежняго конуса была взорвана. Дѣйствительно, по нѣннѣмъ верха, масса вулкана находится ближе всего къ огненножидкой магмѣ, образующей болѣе или менѣе значительный подземный очагъ; склоны вулкана, въ особенности дѣйствующихъ, или недавно потухшихъ, представляютъ наиболѣе слабыя части земной коры. Подземные взрывы и переплавленіе массъ горныхъ породъ могутъ вызвать большія разрушенія въ тѣлѣ вулкана, которыя ведутъ къ проваламъ цѣлыхъ частей его. Быстрое исчерпаніе лавы, напр. вслѣдствіе очень сильнаго изверженія, также можетъ повести къ значительнымъ дефектамъ въ тѣлѣ вулкана и, какъ слѣдствіе, къ опусканіямъ его стѣнъ внутрь. Естественно, что между обломками такого разрушеннаго и опустившагося вулкана часто открываются выводные каналы при возобновленіи дѣйствія вулканизма.

На мѣстѣ разрушенной древней горы образуется при этомъ новая; если выводной каналъ остается прежнимъ, то возникаетъ новый вулканическій конусъ, который окруженъ остатками прежняго. Прекраснымъ примѣромъ такихъ отношеній служить Везувій. (стр. 429). Въ центрѣ древняго вулкана, остатки котораго сохранились на сѣверѣ и сѣверо-востокѣ, такъ называемой С о м м и, поднимается современный Везувій, который возникъ лишь въ 79г. хотя нѣкоторые изслѣдователи доказываютъ, что конусъ Везувія существовалъ и раньше. Возникающіе такимъ образомъ двойные вулканы называютъ типомъ Сомми, часто также к о н ц е н т р и ч е с-

к и м и вулканами. Это одинъ изъ наиболѣе распростра-
неннѣхъ теперь типовъ; въ болѣе чистомъ видѣ, чѣмъ даже
Везувій, этотъ типъ представленъ вулканомъ острова Фого
въ группѣ о-вовъ Зеленаго мыса.

Если новое мѣсто изверженія не совпадаетъ со старымъ,
а смѣщено, какъ напр. на Этнѣ (стр. 429), гдѣ новый ко-
нусъ поднимается на части кольцевого остатка стараго,
говорятъ объ э к с ц е н т р и ч н о й вулканической
горѣ. Такія двойныя горы называютъ также с л о ж н ы
м и в у л к а н а м и, въ отличіе отъ простыхъ, состоя-
щихъ только изъ одного конуса.

Наконецъ, особую форму вулкановъ образуетъ очень вяз-
кая магма, если она выступаетъ изъ жерла какъ одно цѣ-
лое, и подъ давленіемъ массъ снизу нагромождается въ ку-
полѣ, который имѣетъ болѣе или менѣе луковичеобразное
строеніе. Такія формы получили названіе о д н о р о д
н ы хъ, также *Snellkuren* (т.е. натекухъ) вулкановъ.
Болѣе глубокія и внутреннія части такихъ массъ новѣе,
чѣмъ части на верхнѣхъ куполахъ или на склонахъ при основа-
ніи; наиболѣе новыя массы образуютъ самое ядро такихъ
вулкановъ. Къ такимъ формамъ въ сущности и относятся ку-
полообразныя поднятія на Георгіосѣ и на Везувіи, о кото-
рыхъ мы вспоминали раньше. Штубель называетъ эти формы
Stirnkegel т.е. куполами напора, такъ какъ они возникли
вслѣдствіе вспучиванія снизу. Кратера въ такихъ формахъ
можетъ и не быть, хотя напр. Георгіосъ давалъ все таки
взрывы черезъ извѣстные промежутки.

Размѣры кратера совершенно независимы отъ размѣровъ самой горы, равнымъ образомъ какъ напряженность дѣятельности вулкана не зависитъ отъ его высоты. Напр. самый страшный изъ вулкановъ Исландіи, Котлягія на югѣ острова, лежитъ подъ мощнымъ покровомъ льда, такъ называемыми Мирдалльс-Юккуль; во времена затишья вулкана присутствіе его выдается только сѣрнистымъ запахомъ ледниковыхъ водъ, что зависитъ отъ дѣятельности субгляціальныхъ fumaroles. Когда Котлягія находится въ изверженіи, сначала появляются необычныя количества кипящей воды, затѣмъ появляются массы, состоящія изъ смѣси такой воды, и продуктовъ изверженія, среди которыхъ находятся глыбы льда самой различной величины.

Лава естественно служитъ очень значительно для укрѣпленія тѣла вулкана. Лава выступаетъ или изъ главнаго кратера, или изъ трещинъ въ бокахъ вулкана. Высота вулкана при этомъ не имѣетъ особеннаго значенія; такъ, Катопакси извергаетъ лаву изъ главнаго кратера на высотѣ 6000 м., Этна на высотѣ 3000 м. Можно представить себѣ по этимъ цифрамъ давленіе, съ которымъ механизмъ вулкана поднимаетъ лаву изъ вѣдръ земли. Когда лава находится въ выводномъ каналѣ, она оказываетъ на стѣнки вулкана своимъ вѣсомъ настолько значительное давленіе, если выводныя отверстія при этомъ еще закрыты, что въ стѣнкахъ вулкана образуются трещины, и лава начинаетъ вытекать не изъ главнаго кратера, а гдѣ либо сбоку, иногда у подножія горы, иногда выше. Большею частью такое боковое изверженіе начинается

совершенно так же, какъ изъ главнаго кратера. Сначала извергаются рыхлые продукты, образующіе паразитическій конусъ, иногда значительной высоты; верѣдко на одной трети нѣ образуется нѣсколько такихъ конусовъ; такъ въ 1853 г. на сѣверномъ склонѣ Везувія на одной трети образовалось 12 такихъ конусовъ.

Трещины и изліянія. Всѣ рассмотрѣнныя формы происходятъ отъ центральнаго выводнаго канала. При трещиновой, линейной (*linéaire*) формѣ выводнаго канала образуются массовыя (по Рихтгофену) или трещиновыя изліянія (трещиновый типъ по Гики). Подъ такимъ наименованіемъ понимаютъ накопленія продуктовъ изверженія, обыкновенно очень обильныя, но отличающіяся совершеннымъ почти отсутствіемъ рыхлыхъ продуктовъ и также отсутствіемъ какого нибудь радіальнаго или периклинальнаго расположенія породъ. Эти накопленія представляютъ или покровообразную форму, или распространяются преимущественно по какому нибудь одному направленію. Такія изліянія происходятъ не изъ центральнаго выводнаго канала, а изъ трещины; направление ея опредѣляетъ и направление возникающаго при этомъ кражевиднаго образования. Отсутствіе рыхлыхъ продуктовъ объясняется слабымъ восшеніемъ магмы парами, а при вязкости магмы она можетъ нагромождаться надъ трещиной и въ видѣ значительной горы.

Этотъ типъ болѣе распространенъ былъ въ третичную эпоху и болѣе древнія (Индія, Шотландія, Восточная Сибирь, Зап. Америка). Для того времени этотъ типъ представлялъ

нормальную форму отложения магмы: послѣ разрушенія эрозі-
онными процессами такіе лавовые покровы представляются
часто въ видѣ отдѣльныхъ значительныхъ массивовъ. нерѣд-
ко также конусовъ (Вост. Сибирь). Въ настоящее время та-
кія линейныя изверженія рѣдко встрѣчаются въ чистомъ ви-
дѣ, обыкновенно между центральными и линейными наблюдаот
ся всевозможные переходы.

Замѣчательное изверженіе 1886г. Таравера (Новая Зеландія)
выразилось въ образованіи трещины длиною 14 км., на кото-
рой образовался рядъ кратеровъ, соотвѣтствующихъ каждый
отдѣльному выводному каналу. Здѣсь возникъ разломъ и за-
тѣмъ въ мѣстахъ наименьшаго сопротивленія или въ мѣстахъ
наибольшаго напряженія газовъ образовались центры извер-
женія. При близкомъ разстояніи такихъ центровъ не трудно
себѣ представить и возможность сліянія лавы изъ нихъ въ
одну мощную покровъ. Въ Исландіи можно замѣтить различ-
ные типы вулкановъ - везувіальныя, лавовыя, но въ видѣ
маленькихъ плоскихъ куполовидныхъ поднятій, и линейныя
(стр. 437). Чаше всего послѣдній въ начальной формѣ -
трещина и вдоль нея рядъ удлиненныхъ кратеровъ; рѣже -
трещина и вдоль нея валъ изъ шлаковъ и лавы, но прерван-
ный въ нѣсколькихъ мѣстахъ; рѣже всего - полное сліяніе
центровъ изверженія въ одну линію, вдоль которой на обѣ
стороны изливается лава.

Подобныя трещины, извергающія лавовыя массы, могутъ во-
зникнуть и независимо отъ собственно вулканической горы.
Въ Исландіи подобныя трещины безъ вулкановъ составляютъ

наиболее характерную особенность проявленія тамъ вулканизма. Такія трещины расположены тамъ очень часто по линиямъ, ограничивающимъ такъ называемые горсти, т.е. участки земной коры устойчивые и оказывающіе движеніямъ въ земной корѣ наибольшее сопротивленіе. Одна изъ наиболее значительныхъ вулканическихъ трещинъ пересекаетъ Лякибергъ, высоту, сложенную изъ парагонитоваго туфа, къ западу отъ ледника *Scruptar-Jöknur* на протяженіи до 2 км. Трещина проходитъ, конечно, не непрерывно. На самомъ Лякибергѣ она не имѣетъ вида зіяющей трещины, хотя она несомнѣнно проходитъ здѣсь, но уже около подножія горы она становится зіяющей и на ней расположено до 500 небольшихъ кратерныхъ жерлъ, извергающихъ лаву; изъ нихъ 33 имѣютъ діаметръ отъ 100 до 150 м., другія отъ 50 до 100, а самыя маленькія имѣютъ діаметръ 4-5 м. при высотѣ конуса до 2 м. (стр. 467). Всѣ эти образованія представляютъ шлаковые конусы, черезъ которые изливается лава. На Лякибергѣ лава покрываетъ пространство до 300 кв. км.; средняя мощность этого покрова около 30 м., следовательно, весь объемъ вылившейся лавы измѣряется 27 куб. км. Изверженія этой лавы начались на сѣверѣ черезъ трещины *Minkefjell* и *Kolbekeke* общей длинны до 48 км. при ширинѣ до 14 м., эти лавы заполнили пѣлныя широкія долины. Затѣмъ послѣдовали изверженія на обоихъ концахъ трещины. Все это явленіе, вмѣстѣ съ тѣмъ и наибольшее лавовое изліяніе, какое извѣстно въ историческое время, произошло въ 1763 г. въ теченіе семи мѣсяцевъ, причемъ пять было сильнѣйшей дѣятельности.

Г о р о д с е н ь сообщает, что лава изливается иногда и непосредственно изъ трещины безъ образованія шлакового конуса. Это можно видѣть на большой трещинѣ Эльдгія, гдѣ въ трехъ мѣстахъ происходитъ спокойное изліявіе огненножидкого вещества: только на южномъ продолженіи трещины, гдѣ она становится болѣе узкой, набросавъ рядъ болѣе значительныхъ шлаковыхъ конусовъ. Излившіеся три лавовые потока покрыли площадь въ 593 кв. км. Эльдгія, что означаетъ "огненная разсѣлива", была открыта Торрадсеномъ въ 1893 г. Каково количество лавы, излившейся въ Исландіи, можно иллюстрировать примѣромъ обширной лавовой пустыни, *Odvallakinn*, занимающей 4000 кв. км.; массы этого матеріала было бы достаточно, чтобы покрыть всю площадь Даніи слоемъ въ 5 м. высотой.

Л а в а и н ѣ к о т о р ы е е я с в о й с т в а .

Все, что поступаетъ на поверхность изъ вулкана въ огненножидкомъ состояніи, называютъ лавой. Такъ какъ всѣ изверженные породы нѣкогда были въ огненножидкомъ состояніи, то въ широкомъ смыслѣ можно ихъ назвать лавами. Можно среди изверженныхъ породъ отличить группу такихъ, которыя не были излиты изъ какого нибудь вулкана и вообще никогда не были въ огненножидкомъ состояніи на поверхности земли. Слѣдовательно, такія породы не были лавами, и ихъ называютъ г л у б и н н ы м и . На своемъ пути изъ нѣдръ земли онѣ остались внутри твердой коры и не достигли до свободнаго изліянія на поверхности земли: онѣ должны были отвердѣвать при иныхъ условіяхъ, вѣроятно при

болѣе высокой температурѣ и подѣ болѣе высокимъ давлени-
емъ, чѣмъ тѣ породы, которыя достигли до земной поверхно-
сти и потому называются и з л и в ш и м и с я (эруптив-
ными). Только позднѣе, вслѣдствіе тектоническихъ и денуда-
ціонныхъ причинъ глубинныя породы становятся доступными
нашему наблюденію. Иначе глубинныя породы называютъ еще
и н т р у з и в н ы м и , т.е. вдавленными среди другихъ;
къ такимъ именно относятся породы, слагающія упомянутые
уже л а к к о л и т ы .

Лавой, слѣдовательно, называютъ извѣстное состояніе ог-
ненножидкаго вещества, а не опредѣленную горную породу.
Она можетъ имѣть различный минералогическій составъ и не
остается постоянной въ этомъ отношеніи даже для одного и
того же вулкана. Вслѣдствіе различныхъ физико-химическихъ
процессовъ въ огненножидкой магмѣ, какъ въ очагѣ вулкана,
такъ и на пути ея по выводяму каналу и послѣ изліянія
на поверхность происходитъ расщепленіе первоначальнаго
вещества на опредѣленные минералогическія сочетанія, ко-
торыя даютъ различныя горныя породы. Кромѣ физическихъ
условій и химическаго сродства въ расщепленіе первоначаль-
ной магмы оказываютъ большое вліяніе заключающіеся въ
ней газы, которые служатъ такъ называемыми минерализато-
рами. Главными составными частями всякой магмы служатъ
 $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}, \text{MgO}, \text{Ca}, \text{K}, \text{Na}$ и рядъ другихъ
элементовъ, какъ $\text{Pb}, \text{Bi}, \text{S}, \text{Li}, \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{As},$
 $\text{Ag}, \text{U}, \text{Fl}, \text{V}$ и т. д. Лавы съ среднимъ содержаніемъ SiO_2 выше
65% называютъ к и с л ы м и , съ содержаніемъ отъ 52% до 65%

нейтральными и ниже 52% - основными.

Породы глубинные и излившиеся отличаются своей структурой. Следовательно, если даже совершенно исчез прежний выводной канал, по характеру горных пород можно отличить излившиеся породы. Различие в структуре зависит от условий охлаждения, именно от быстроты, большей для излившихся пород и меньшей для глубинных. Условия охлаждения не остаются постоянными и для массы лавы. Лава покрывается быстро шлаковой корой как сверху и со боков, так и снизу, так что лава продолжает двигаться, как в туннели. Шлаковая кора очень плохой проводник тепла, и внутри лавы долго сохраняет еще высокую температуру. Катюция в Исляндии выбрасывает иногда в лавы куски льда, окруженные шлаковой оболочкой. На вершинах Котопакси лава протекает по льду и снежным полям, которые таит не больше, чем на $\frac{1}{10}$ часть своей мощности при первом соприкосновении с потоками лавы. На Этне лава через два года сохраняет еще очень высокую температуру, так что к трещинам нельзя близко подойти, а через 7 лет температура лавы была еще 72° .

Следовательно, структура шлаковой коры и внутренних частей потока должна быть иной; под пористой стекловатой корой образуется порода более плотная, порфирового строения, которая к концу снова принимает шлаковый вид.

Газы и пары, выходящие из лавы, часто выбрасывают расплавленный материал и образуют различные конические или в виде гротов, труб образования, из которых выль-

ляется фумароли. Подобныя шлаковныя трубы иногда являются въ огромномъ числѣ; такъ на лавовой массѣ, вылившейся при образованіи Хорулло въ 1759 въ Мексикѣ, эти образования, получившія тамъ названіе г о р н и т о с о в ъ покрывали всю ея поверхность (стр. 414).

Поверхность шлаковой коры лавоваго потока имѣетъ различный видъ. Она имѣетъ видъ или безпорядочно нагроможденныхъ другъ на друга лепешекъ (*Fladen*), или перепутанныхъ канатовъ (*Strick*), или кнѣекъ (это типъ волнистой лавы) /стр. 460/ или, наконецъ, нагроможденія отдѣльныхъ глыбъ (*Block*), на которыя лава распадается при очень крутомъ уклонѣ ложа (типъ глыбовой лавы) /стр. 461/

Скорость движенія лавы зависитъ отъ величины надвигающейся массы, отъ степени ея густоты и уклона поверхности. Лава Мауна-Лоа имѣетъ скорость 3,5м. въ сек. т.е. почти вдвое больше скорости теченія большой рѣки при устьѣ ея въ море. На Везувіи скорость движенія лавы иногда 2,4м. иногда 0,5 или 0,8м. Максимальная скорость, которая когда либо наблюдалась, была 8м. въ 1".

Наибольшіе лавовые потоки современныхъ вулкановъ, если исключить прежіе потоки Исландіи, имѣютъ объемъ отъ $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ куб. км. напр. на Мауна-Лоа. Въ 1855г. этотъ вулканъ далъ потокъ, который въ теченіе вѣсколькихъ мѣсяцевъ достигъ длины 50км. при ширинѣ 200м. и средней мощности 50-100м. Въ разстояніи еще 13км. отъ начала можно было видѣть подъ шлаковой корой расплавленную массу тѣющую и трещащую. На Везувіи наибольшій потокъ, ко-

торный въ 1794г. разрушилъ Torre дель Греко имѣлъ длину 5.7км. при ширинѣ 650м. и толщину всего 13м., объемъ потока былъ 15600000 куб. м.

Я в л е н і я, с о п р о в о ж д а ю щ і я и з в е р ж е н і е. Явленія пламени изъ жерла вулкана первоначально объясняли всегда отраженіемъ огневой лавы на небѣ, но теперь положительно убѣдились, что изъ жерла вулкана при изверженіи ~~члнгу~~ выделяется дѣйствительное пламя, которое зависитъ отъ сгорания *ж* и углеводородовъ.

Всякое почти изверженіе сопровождается обильными водяными потоками, которые происходят или отъ сгущенія водяныхъ паровъ, или отъ изліянія массъ воды, скопившихся въ кратерѣ во время продолжительнаго покоя вулкана. Въ первомъ случаѣ явленіе сопровождается грозой; вулканическая гроза отличается отъ обыкновенной только отсутствіемъ града. Водяные пары, выделяемые изъ жерла, заряжены положительс- а части выбрасываемого пепла - отрицательно; электрическіе разряды при достаточномъ напряженіи этого электричества производятъ постоянныя молніи и громъ.

Дождевые потоки, увлекая пепель и разбивая склоны вулкановъ, превращаются въ грязевые, производятъ самые страшныя разрушенія на своемъ пути. Города Геркуланумъ и Помпея были погребены въ 79г. подъ отложеніями такого грязевого потока. При отвердѣваніи эти грязевыя массы даютъ туфозукп породу, въ которой прекрасно сохраняются самыя нѣжныя части растеній. Грязевые потоки въ Аздахъ происходят чаще всего отъ таянія снѣга и льда, а не Явѣ отъ изліянія кра-

терники озеръ. Часто вода при этомъ достигаетъ до точки кипѣнія и насыщается кислотами, что способствуетъ еще болѣе совершенному уничтоженію всего на пути такихъ потоковъ: 1 - 5 мая 1902 г. такой грязевой горячій потокъ изъ *Mont Pelé* разрушилъ въ нѣсколько минутъ сахарную фабрику *Guerin*: этимъ началась страшная катастрофа, развивавшаяся въ теченіе послѣдующихъ дней надъ гор. *St Pierre*. Во время сильнаго изверженія Везувія въ апрѣлѣ 1906 г., когда были выброшены огромныя массы пепла, изверженіе не имѣло болѣе катастрофическихъ послѣдствій (кромѣ провала подъ тяжестью пепла крыши нѣсколькихъ общественныхъ зданій) главнымъ образомъ благодаря отсутствію дождя, вслѣдствіе счастливаго сочетанія атмосферныхъ условій.

ФОРМЫ ВУЛКАНОВЪ И ИХЪ ОБРАЗОВАНІЕ

ДО ШТЮБЕЛЯ.

До сихъ поръ мы познакомились съ общепринятыми представленіями объ образованіи вулкановъ; иначе объясняетъ ихъ Штюбель, исходя изъ своей гипотезы вулканизма.

Обращаясь къ внѣшней видимой части вулканическаго аппарата, Штюбель обращаетъ вниманіе, что въ большинствѣ случаевъ, какъ это было доказано еще Ляйэлемъ и Скропомъ, горячія породы, служація основаніемъ вулкановъ, не обнаруживаютъ нарушенія зазеганія отъ проявленія вулканическихъ силъ. Это позволяетъ предполагать, что проявленіе этихъ

силъ было внезапнымъ. Количество магмы, доставляемое на поверхность при всякомъ изверженіи, находится въ совершенно опредѣленномъ отношеніи къ величинѣ сопротивленія, оказываемаго вулканической силѣ при ея первомъ проявленіи. Если при такомъ проявленіи была прорывавая мощная толща геологическихъ образованій, то на поверхность земли была доставлена и значительная масса огненножидкой матеріи, достаточная для образованія горы значительной высоты и объема. Въ большинствѣ случаевъ это количество магмы составляетъ значительнѣйшую часть массы, которая заливала вулканическій очагъ, близкій, слѣдовательно, къ исчерпанію. Если это вѣрно, то должны существовать такія вулканическія горы, которыя образованы единымъ, но необыкновенно мощнымъ изверженіемъ. Такія горы являются слѣдствіемъ перваго возбужденія периферическаго очага, которое связано съ проявленіемъ вулканизма, далеко оставляющимъ за собой всѣ его послѣдующіе пароксизмы: отсюда слѣдуетъ, что гора, вулканическій очагъ которой находилась до того времени въ покоѣ, при его первомъ пробужденіи почти совершенно заканчивается въ своемъ образованіи. Вулканическія горы, которыя представляютъ собой продуктъ единаго изверженія, хотя, быть можетъ, и очень длительнаго съ точки зрѣнія времени, но не прерываемаго продолжительными періодами покоя. Штибель называетъ и о н о г е н н ы м и вулканами. Единное, но длительное изверженіе, дающее начало моногеннымъ образованіямъ, слѣдуетъ понимать въ томъ смыслѣ, что отдѣльныя изверженія, подлѣ-

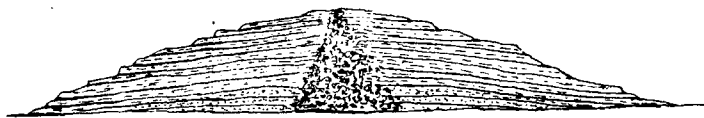
вавшія матеріалъ, слѣдовали другъ за другомъ непрерывно такъ быстро, что гора была закончена прежде, чѣмъ наступило охлажденіе и отвердѣваніе огнениожидкой массы; многіе годы, даже тысячелѣтія могли пройти прежде, чѣмъ вся масса такой горы совершенно охладѣетъ, тѣмъ не менѣе вся она должна быть рассматриваема, какъ продуктъ единого изверженія. Въ зависимости отъ качествъ изливавшейся магмы и характера мѣстности, гдѣ происходило такое изверженіе, формы моногенныхъ вулкановъ могутъ быть очень различны, — въ видѣ покрововъ и потоковъ для базальтовыхъ, куполовъ и колоколообразныхъ массъ для болѣе кислыхъ породъ, какъ трахиты и андезиты.

Рядомъ съ такими горами существуютъ и инныя, хотя въ меньшемъ количествѣ, которыя происходятъ изъ очаговъ, обнаруживающихъ многократное пробужденіе вулканической дѣятельности, всегда перемежаемое болѣе или менѣе продолжительными періодами покоя; это вулканы полигенныя. Каждая вулканическая гора должна имѣть моногенное ядро, и если позднѣйшія проявленія вулканизма создаютъ на немъ полигенную оторочку, то это приращеніе моногеннаго ядра имѣетъ только второстепенное значеніе.

Строеніе моногеннаго вулкана можетъ зависѣть отъ послѣдовательнаго, порывами, изліянія приобъемлющей связи огнениожидкой массы и перекрывающей тонкими слоеобразными образованіями (банками) болѣе нижнія образованія, но всегда нижнія распространяются далѣе, чѣмъ верхнія. Въ началѣ эруптивной фазы изливаются наибольшія массы; съ те-

ченієм вращенію въ концы фазы количество огненнотекучаго вещества уменьшается. Слѣдовательно, весь процесс изверженія выражается окончательно въ постепенномъ утолщеніи всей горной массы кверху, какъ по размѣрочъ разныхъ слоеобразныхъ отложеній лавы, такъ и по уменьшенію количества самого матеріала, т.е. въ верхнихъ частяхъ проявляется все яснѣе присутствіе и разныхъ продуктовъ изверженія, шлаковъ и различныхъ обломковъ (агломераты). Такимъ образомъ могутъ возникнуть слоистые (страто) моногенные вулканы. (рис. 7), строеніе которыхъ вѣсколько отличается отъ строенія настоящихъ слоистыхъ или полигенныхъ вулкановъ. Моногенные вулканы имѣютъ иное строеніе,

рис. 7.



Строеніе моногеннаго слоистаго вулкана.

если они образуются отъ выпячиванія прибывающей снизу массы подъ постоянной оболочкой ствердѣвшей коры наиболѣе ранней фазы изверженія: такая оболочка неоднократно, конечно, разламывается и прорывается; такое строеніе Штубель называетъ вулканами выпячиванія. Полигенные вулканы являются результатомъ постепеннаго и съ перерывами накопленія продуктовъ изверженія, соглас

но съ объясненіями Ляйэля и Скрона. Коническая форма является для нихъ единственно возможной; сложность ихъ носитъ иной характеръ въ томъ отношеніи, что продукты послѣдующихъ изверженій обыкновенно перекрываютъ совершенно продукты предшествующихъ. Кратеръ и выводной каналъ представляютъ для этого типа центръ геометрическій и генетическій. Кратеръ является существенной и необходимой частью вулканической горы полигеннаго типа.

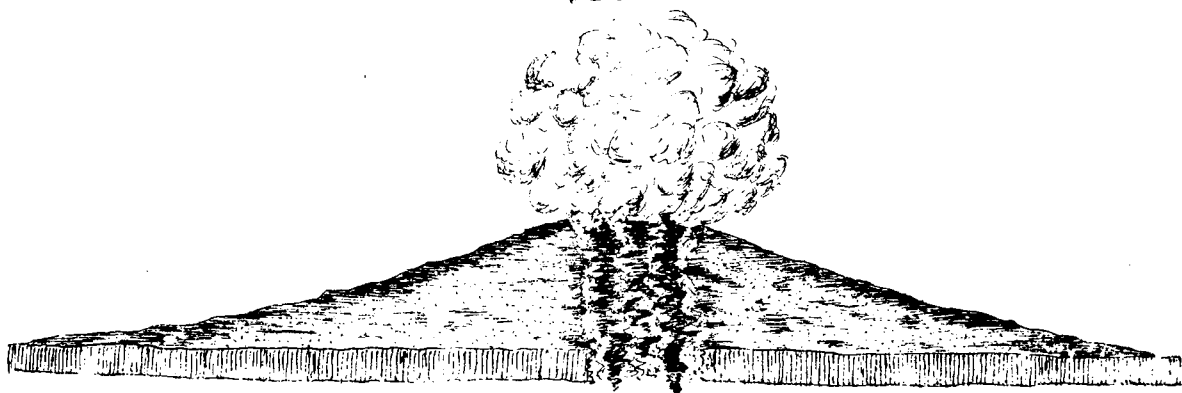
рис. 8.



Строеніе полигеннаго слоистаго вулкана.

Для моногеннаго вулкана кратеръ не представляетъ существенной части, — его можетъ и не быть, такъ какъ образованіе вулканической горы происходитъ путемъ непрерывнаго всей массой поднятія лавы.

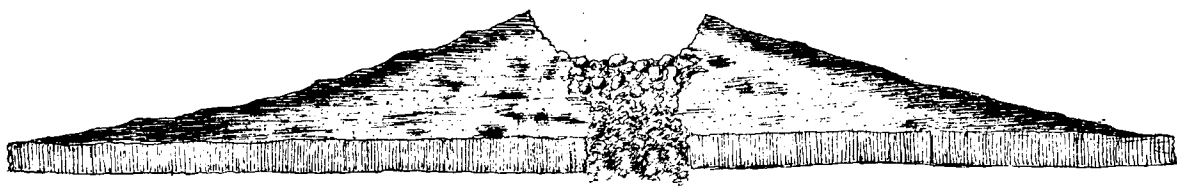
рис. 9.



Моногенная вулканическая гора до образованія эллидера.

Кратерообразныя углубленія на вершинѣ моногенныхъ вулканическихъ горъ опредѣляютъ собой особый типъ кальдеръ - вулкано. Обыкновенно это весьма значительныя куполообразныя горы, діаметръ кратернаго отверстія которыхъ по сравненію съ высотой горы и ея объемомъ настолько великъ, что массовое образованіе горы изъ такого кратера и соответствующаго ему выводнаго канала было бы необъяснимымъ. Если при возникновеніи моногеннаго вулкана, когда значительнѣйшая часть магмы очага уже поднята на поверхность, подземная сила внезапно ослабѣваетъ, и притокъ магмы прекращается, то внутренняя часть горы, далеко еще не отвердѣвшая, должна опуститься по выводному каналу; вмѣстѣ съ этой неокрѣпшей массой увлекается внизъ и часть боковыхъ уже отвердѣвшихъ массъ горы. Образованіе такой кальдеры происходитъ независимо отъ когда либо существовавшаго отверстія выводнаго канала т.е. дѣйствительнаго кратера, единственно вслѣдствіе внезапнаго опусканія и обрушенія внутренней части горы; образованіе кальдеръ представляетъ такимъ образомъ послѣдній актъ моногеннаго творенія.

рис. 10.



Моногенная вулканическая гора послѣ образованія кальдеры.

Кальдера и кратеръ топографически образованія сходны, но генетически совершенно различны. Дѣйствительный кратеръ въ моногенесѣ вулканѣ можетъ представлять отверстіе выводного канала въ днѣ кальдеры, или же онъ образованъ взрывами газовъ или даже изліяніями лавы, какъ слѣдствіями охлажденія въ массѣ самой горы; такіе кратеры на моногенныхъ вулканахъ аналогичны фумароламъ на отвердѣвшихъ потокахъ лавы. Воле или менѣе постоянныя признакомъ кальдеры, отличающимъ ее отъ кратера, можетъ иногда служить крутизна ее внутреннихъ склоновъ, несомненно ясно обнаруживающихъ строеніе вулкана. Къ такимъ кальдера-вулканамъ относятся по Штубелю Tenerifskij пикъ, Гранъ Канарія, Мадейра, Антивисава, Альтаре Руминачун Санъ Михаилъ на о-вѣ Пальма (стр. 425).

Коренное генетическое различіе между моногенными и полигенными вулканами, слѣдовательно, въ томъ, что послѣдніе обнаруживаютъ продолжительное соединеніе поверхности съ подземнымъ очагомъ, а послѣдніе представляютъ продуктъ единсвеннаго изліянія изъ такого очага, кѣмъ словами какъ бы совершенное законченное твореніе вулканическихъ силъ *) изъ периферическаго очага, исчерпаннаго до конца при первомъ его пробужденіи.

*) Эти идеи Штубеля нѣсколько напоминаютъ мысль Л. ф. Вуха о

коренномъ генетическомъ различіи между вулканами и кратерами поднятія; замечаніе великаго геолога первой половины прошлаго столѣтія не могло оторваться отъ этого различія. И съ полнымъ основаніемъ можно и теперь привести его слова: Dieser Unterschied ist, wie es mir scheint, mehr eine Beobachtung als eine Hypothese (Ueber Entstehungskrater und Nubane. Gesammelte Schriften, B. IV. 1885, S. 292.

ein.

Штубель приводит многочисленные примѣры, что моногенное образование гораздо распространеннѣе, чѣмъ полигенное, что при новомъ возбужденіи эруптивной энергіи магма скорѣе открываетъ себѣ новый путь рядомъ гдѣ либо, чѣмъ снова возбуждаетъ къ дѣятельности потухшій моногенный вулканъ. Законченное разъ образование такого вулкана служить скорѣе препятствіемъ для возможности здѣсь же послѣдующихъ изверженій изъ того же очага.

Периферическіе очаги, дающіе полигенные вулканы, могутъ обнаруживать одну, три и многократное возбужденіе дѣятельности прежде чѣмъ они будутъ исчерпаны совершенно. Каждая такая фаза отдѣляется отъ предшествующей огромными промежутками времени, но все эти паузы должны быть значительно короче, чѣмъ первая пауза (пауза первого исчерпанія по Штубелю^{*)}), послѣ первоначальнаго пробужденія вулканизма въ данной мѣстности. Каждая изъ послѣдующихъ фазъ возбужденія вулканизма характеризуется новой выстройкой тѣла вулкана или пристройкой къ нему, но ни одно изъ этихъ новыхъ образованій не становится болѣе активнымъ, напр. М. Араратъ около В. Арарата.

Можетъ быть и совсѣмъ другой случай образованія полигеннаго вулкана, когда новая выстройка получается при вторичномъ пробужденіи дѣятельности очага, но когда при этомъ

*) Периферическій очагъ, который не былъ совершенно исчерпанъ при первомъ пробужденіи въ немъ вулканизма, требуетъ огромнаго времени, чтобы снова вулканическія силы могли вызвать новое изверженіе; это время Штубель и называетъ

п а у з о й п е р в а г о и с ч е р п а н і я.

очагъ не исчерпывается окончательно и устанавливается на столько легкое сообщеніе поверхности съ очагомъ, что самыя незначительныя явленія въ очагѣ уже передаются, сигнализируются по выраженію Штюбеля, на поверхность. Такимъ путемъ обеспечивается вулканическимъ силамъ появленіе ихъ на поверхности черезъ кратковременныя промежутки въ теченіе тысячелѣтій. Къ этой категоріи вулкановъ относится большинство дѣйствующихъ теперь, какъ Везувій, Этна, Стромболи, Котопакси, Сангай, Ключевская, Авачинская и мног. др. Эти вулканы питаются дѣйствительно особымъ классомъ периферическихъ очаговъ, получившихъ сообщеніе съ поверхностью не во время первой фазы пробужденія вулканизма и не въ одну изъ послѣдующихъ, а именно во вторую.

Доказательствомъ двукратнаго главнаго пробужденія вулканизма многихъ очаговъ служить по Штюбелю образованіе двойныхъ (сложныхъ) горъ, типъ Somma-Везувій, который съ удивительнымъ постоянствомъ повторяется во всѣхъ вулканическихъ областяхъ и обнимаетъ большую часть изъ дѣйствующихъ современныхъ вулкановъ. Двойными горами наиболее опредѣленно характеризуется периферическій очагъ. Разнообразіе формъ моногенныхъ горъ огромно: на одномъ концѣ такого ряда можно поставить пологую куполообразную гору безъ кратера, а на другомъ - гору съ широкой чашеобразной кальдерой. Формы, создаваемыя вторичнымъ пробужденіемъ очага, колеблются между простымъ потокомъ лавы и правильной конической горой съ кратеромъ. Двойныя горы даютъ еще большее разнообразіе, являясь слѣдствіемъ сочетанія формъ перваго и втораго ряда.

Первоначально Штюбель полагалъ, что за существованіе оча-

ровъ ограниченнаго объема, периферическихъ, говорить также мертвый матеріалъ, шлаки и пепелъ, который иногда въ началѣ фазы изверженія выбрасывается въ необыкновенномъ количествѣ. Шлаки образуются при затвердѣваніи магмы, богатой газами, вслѣдствіе ея охлажденія, и подобное явленіе возможно въ замкнутомъ пространствѣ, т.е. внутри очага. Хотя гораздо медленнѣе, чѣмъ на воздухѣ. Магматическая масса въ очагахъ возобновляетъ тепло, напр. отъ центральнаго очага, гораздо медленнѣе, чѣмъ отдаетъ; поэтому и въ очагахъ должны возникать огромныя количества шлаковъ. Чѣмъ больше будетъ шлаковъ сравнительно съ жидкой еще магмой, и чѣмъ продолжительнѣе будутъ паузы между отдѣльными изверженіями, тѣмъ изверженіе будетъ богаче такимъ мертвымъ матеріаломъ. Изверженіе его является поэтому доказательствомъ не большей жизненности очага, а наоборотъ - его умиранія. Конусы, составленные преимущественно изъ мертваго матеріала, представляють, говоритъ Штебель, послѣдніе камни колоссальнаго памятника, воздвигнутаго или еще воздвигаемаго себѣ вулканическими силами тамъ, гдѣ эти силы близки къ исчерпанію.

Если лавовые потоки изливаются послѣ изверженія шлаковъ, напр. въ конусахъ Цуи и др., то это является только послѣднимъ проявленіемъ активнаго вулканизма.

Однимъ изъ существенныхъ возраженій противъ теоріи Штебеля служить строеніе многихъ вулканоидовъ, относимыхъ имъ къ моногенному типу. Такъ Сомма, какъ извѣстно, сложена не только изъ лавы, но преимущественно изъ аггломератовыхъ массъ, т.е. мертваго матеріала, по терминологіи Штебеля, притомъ отлагавшагося въ теченіе цѣлаго ряда геологическихъ

эпохъ. Это возраженіе заставляетъ Штубеля, въ его посмертномъ трудѣ, нѣсколько измѣнить положеніе, что изверженіе мертвого матеріала является признакомъ умиранія очага. Онъ предполагаетъ, что образованіе шлаковъ и пепла происходитъ въ верхнихъ частяхъ выводныхъ каналовъ отъ очага; такіе каналы были неизмѣримо больше, чѣмъ выводные каналы современныхъ дѣйствующихъ вулкановъ, и магма могла неоднократно подниматься и опускаться въ вмесдромъ каналѣ, каждый разъ выдѣляя на поверхность извѣстное количество смѣшаннаго матеріала, прежде чѣмъ наступилъ актъ творенія моногенной горы. При значительномъ количествѣ мертвого матеріала въ выводномъ каналѣ моногенное твореніе могло повести къ образованію горы изъ такого смѣшаннаго матеріала; наконецъ могли быть случаи, когда предшествующія изверженія мертвого матеріала подвліяніемъ давленія поднимающейся магмы настолько уже освободили выводной каналъ, что расплавленная магма вовсе не достигаетъ поверхности и ея существенная часть отлагается ниже поверхности. (*interirdisch*). Штубель не настаиваетъ зѣтѣмъ и на рѣзкомъ различіи въ строеніи вулканическихъ горъ моногенныхъ и полигенныхъ; совершенно иное проявленіе вулканической энергіи въ томъ и другомъ случаѣ можетъ дать внѣшнія видимыя формы очень близкія. Штубель какъ бы приходитъ къ заключенію, что внѣшнія формы и строеніе вулканическихъ горъ, которыми онъ придавалъ первоистинное значеніе, недостаточны, чтобы возстановить исторію подземнаго очага, въ зависимости отъ которой онъ построилъ всю свою генетическую систему.

Штубель указываетъ на большую аналогію между двойными кан

деревыми горами земли и вулканами луны; кольцевая лунная гора представляет не больше как колоссальный кальдерный моногенного строения. Только больший размер земли определяет разницу между вулканическими явлениями земли и луны. Большие кольцевые концентрические лунные горы представляют следствие многократных быстро следовавших извержений в течение первой фазы извержения каждого очага. Поверхность луны соответствует состоянию поверхности земли после фазы катастрофы, когда преобладали формы типа кальдера-вулкана. Появление на лунных горах типа Сомма-Везувий показывает второе пробуждение эруптивной энергии; но пауза была безконечно велика и отсюда протекает сравнительная ничтожность всех извержений; количество живой материи уменьшается, эруптивные центры исчерпываются, незначительные извержения продолжаются из самого тела старых вулканов.

По учению Штубеля образование вулканических гор отнюдь не составляет необходимого проявления вулканических сил; образование их происходит только при наличности особых условий. Нормальная же форма отложения расплавленного вещества на поверхности земли есть покровы, примеры которых как на луне, так и на земле имеют во множестве, напр. покровы в области Колумбии в Северной Америке, в Декане, которые занимают пространства в 500-600 т. кв. км. и имеют мощность в несколько сот и даже местами тысячи метров.

*) Кольцевые горы луны с глубокими кратерами, скалистыми отвесными склонами; дно кратера ниже уровня окружающей поверхности.

Менѣе обширные покровы имѣютъ Исландія, Мал. Азія, Сирія, Аравія, Вост. Сибирь. Что означаютъ, спрашиваетъ Штибель, такіа колоссальныя массы излившихся горныхъ породъ по сравненію съ наибольшими изъ земныхъ вулкановъ? Форма горъ въ отложеніяхъ изверженнаго матеріала означаетъ всегда признакъ умирающаго очага, — моногенная въ первой стадіи, полигенная въ послѣдующей. Самые мощные покровы, видимые вами теперь, представляютъ только слабую тѣнь тѣхъ изліяній, которыя въ минувшіе геологическіе періоды происходили изъ центральнаго вулканическаго очага земли и дали ей щитовой покровъ.

Таково въ краткихъ чертахъ красивое ученіе Штибеля, которое даетъ ясное и простое выраженіе для роли вулканизма въ природѣ и связываетъ генетически различныя формы его проявленія. Пренія понятія о вулканахъ слоистыхъ и однородныхъ (по Зеебаху), сложныхъ (типъ Сомма-Везувій), и массовыхъ изліяніяхъ (покровы, трещинныя изліянія) Штибель заимѣваетъ рѣшительно, соединяющими всѣ формы проявленія вулканизма въ одну генетическую систему.

Однимъ изъ первыхъ слѣдствій оживленной критики этого ученія, какъ мы уже видѣли, было нѣкоторое соглашеніе между защитниками трещинной теоріи и ея противниками по существенно важному вопросу о связи вулкановъ съ трещинами. Защитники ученія Штибеля не могутъ теперь отрицать связи вулканизма съ тектоническими явленіями, хотя точное выясненіе этой связи есть еще вопросъ будущаго. Штибель приходитъ къ такимъ же заключеніямъ, какъ отчасти и Арчиб.

Гипки съ другой точки зрѣнія, что прежде всего необходимо изучить вулканическія области въ отношеніи ихъ тектоники, чтобы установить, — сколько было крупныхъ періодовъ въ эруптивной дѣятельности очага, — когда, въ геологическомъ смѣслѣ, наступило время преобразования моногеннаго творенія въ полигенное, — въ какомъ отношеніи находятся отдѣльныя, различныя по времени части данного вулканическаго образованія, — каковы относительные размѣры болѣе новыхъ полигенныхъ образованій и болѣе древнихъ, быть можетъ, первичныхъ моногенныхъ, и т. д.

Если изъ совокупности геологическихъ и топографическихъ данныхъ можно сдѣлать заключеніе о происхожденіи вулканическихъ горъ какой либо области изъ одного общаго очага, то очевидно, что распространеніе и распределеніе вулканическихъ горъ можетъ показывать до известной степени распространеніе и даже форму ихъ общаго периферическаго очага. Отъ положенія и формы очага можетъ зависѣть въ однихъ случаяхъ рядовое, въ другихъ групповое расположеніе вулкановъ независимо даже отъ какихъ либо предопредѣляющихъ тектоническихъ причинъ, вліяніе которыхъ какъ мы говорили, отнюдь не исключается теперь и защитниками ученія Штюбеля.

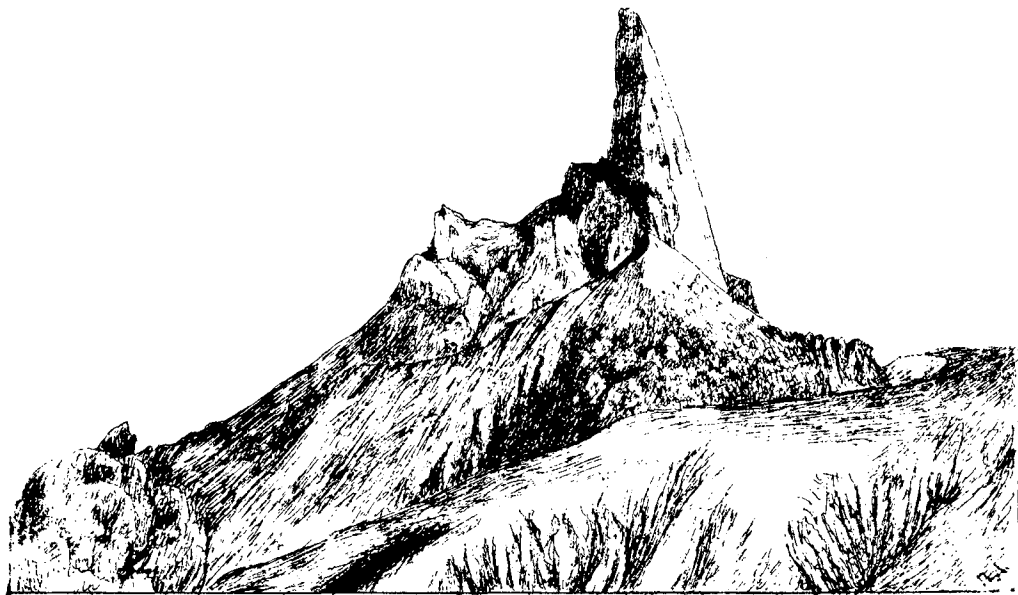
Если въ ученіи Штюбеля многое остается еще не доказаннымъ, то съ другой стороны въ цѣломъ оно представляетъ "рабочую" гипотезу, которая позволяетъ обнять всю совокупность вулканическихъ явленій съ единой точки зрѣнія. Если бы даже одно изъ основаній его гипотезы, временное

увеличение объема магмы при охлаждении, и не подтвердилось, то за покойным вулканологом навсегда останется крупная заслуга возбуждения къ пересмотру нашихъ представлений о вулканѣ, кратерѣ, классификаціи вулкановъ и, наконецъ, о самой сущности вулканизма.

Образованіе купола на *Mont Pelé* послѣ изверженія 1902 г. Катастрофа 8 мая 1902 г. на Мартиникѣ, одна изъ наиболее ужасныхъ за все историческое время по своимъ трагическимъ послѣдствіямъ, сопровождалась явленіями хотя вовсе не исключительными, замѣченными и при другихъ изверженіяхъ, но вызвавшими особенное вниманіе геологовъ. Одной изъ особенностей изверженій на Мартиникѣ и С. Винцентѣ было страшное разрушительное дѣйствіе раскаленныхъ обломковъ (*travertins* или *travertins cindres, no la cendre*), этой эмульсіи изъ твердыхъ продуктовъ изверженія, раскаленныхъ водяными паровъ и газовъ, извергавшихся по склонамъ вулкана, положеніе города *St Pierre*, селеній *Monte Rouge* и другихъ въ сферѣ распространенія этихъ потоковъ было причиной ихъ трагической судьбы. Мы остановимся сначала на другомъ явленіи, которое имѣетъ прямое отношеніе къ нѣкоторымъ идеямъ Штибеля. Въ началѣ августа въ старомъ кратерѣ или кальдерѣ (*l'étang sec*) вулкана *Mont Pelé* стало медленно подниматься новообразованіе въ видѣ небольшого купола (*le cône, le dôme, dome*), который все возрастая, достигъ къ ноябрю мѣсяцу высоты до 400-500 м. даже 600 м. надъ краемъ кратера, въ концѣ октября, точнѣе 3-г

ноябре, на вершинѣ этого купола появился высокій обелискъ
(*l'aiguille, piton, obelisk, spine, tower*), который,

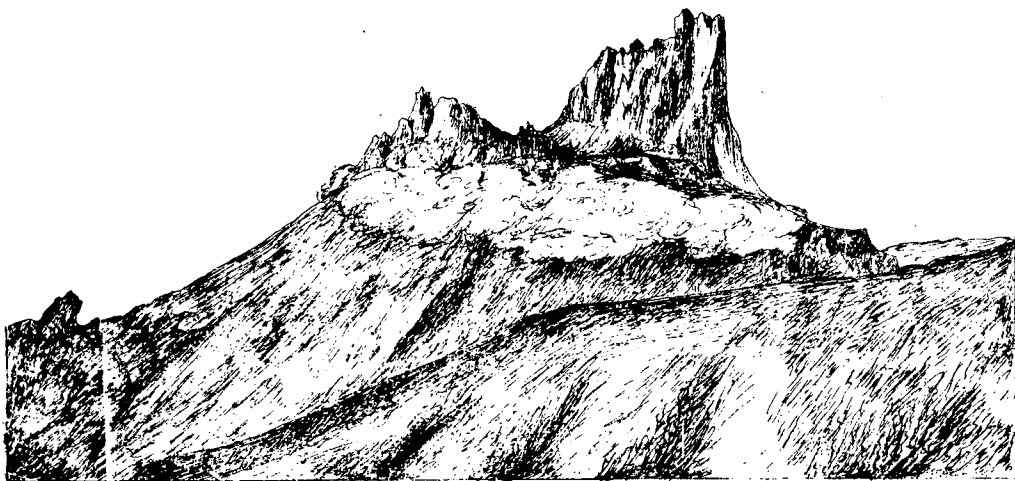
рис. 11.



Обелискъ 11 марта 1903 года.

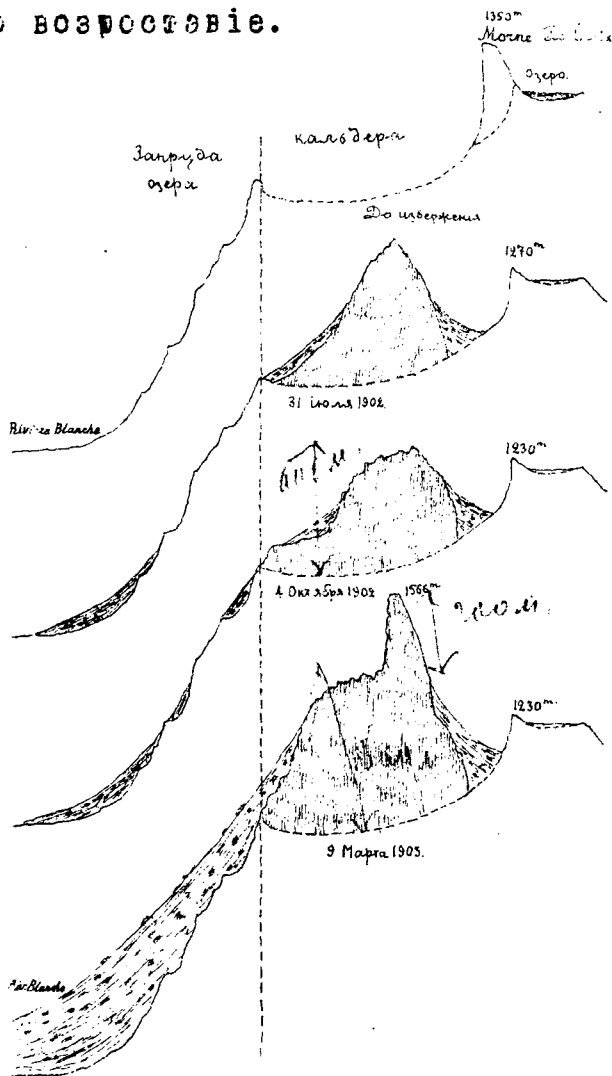
нѣсколько измѣняя свои очертанія, достигъ къ началу іюля
1903г. превращенія около 200м. надъ верховой купола (абсол.
высоты 1808м.)

рис. 12.



Обелискъ 23 іюля 1903 года.

Въ теченіе ноября мѣсяца возростаніе обелиска происходило со средней скоростью около 10м. въ сутки, по временамъ даже до 60 м. въ сутки. Съ ноября до февраля происходило уменьшеніе высоты обелиска съ обваловъ и раздробленія и затѣмъ до іюля снова его возростаніе.



Разрѣзъ въ направленіи NO-SW кальдеры передъ изверженіемъ и во время изверженія, показывающій различныя фазы образованія купола, начало образованія обелиска и одновременное съ этимъ разрушеніе купола съ развитіемъ осипи въ долину рѣки *Rivière Blanche*

Къ концу 1904г. нѣсколько пониженный обелискъ принялъ многогранную форму острой зубчатой вершины, вѣнчающей массивный куполъ вулкана. Кольцеобразный обелискъ превратился въ причудливую зубчатую вершину, напоминающую чрезвычайно близко подобныя же вершины многихъ андезитовыхъ вулкановъ Экваторіальной Америки *).

Рыхлые продукты изверженія, которыми сопровождались пароксизмы *Mont Pelée* до начала образованія купола, съ этого времени играли лишь ничтожную роль, почти не принимая никакого участія въ образованіи самаго купола. Это новообразованіе представляетъ вздутіе отъ медленнаго выступанія расплавленной андезитовой массы съ отвердѣвшей наружной корой, черезъ разломъ которой по временамъ выступали новыя массы магмы, сопровождаясь взрывами и отдѣленіемъ горячихъ газовъ и пепла. Никакого кратера не было на вершинѣ этого купола, а изверженія рыхлыхъ продуктовъ и газомъ происходили по временнымъ отверстіямъ и трещинамъ, быстро закрывавшимся. Когда внѣшняя кора этого купола сдѣлалась достаточно твердой, сопротивляясь возрастанію купола по всѣмъ направленіямъ, внутренняя энергія локализовалась въ опредѣленныхъ точкахъ, и послѣдовало вытѣсненіе, выдавливаніе (*extrusion*) черезъ разломъ въ внѣшней корѣ, отвердѣвшаго вещества въ формѣ упомянутаго обелиска. Таковы описаніе и объясненіе образованія купола и обелиска по изслѣдованіямъ *Le sieux* *)

*) Такую же форму имѣютъ трахи-андезитовая вершина вулкана Хангаръ въ Срединномъ хребтѣ Камчатки и зубчатый андезитовый гребень Шивелуча.

*) *La montagne Pelée et ses éruptions, 1904, I-XII, 1-642.*

Lacroix справедливо говорить, что совершенно неизвестный до тех пор механизм образования куполообразных вулканов (массивных по прежней терминологии или *syntholvolcan* по терминологии *Луэ*) он первый описал и объяснил, опираясь на непосредственные наблюдения. Научная справедливость требовала бы прибавить, что объяснение механизма этого явления было предугадано уже Штубелем; куполь и обелиск *Mont Pelée* представляют происшедшее на наших глазах монотонное творение. В небольшой брошюре, послужившей произведением Штубеля за несколько месяцев до его кончины *) он приводит известные ему в то время факты о возникновении купола и обелиска, как подтверждение своей теории монотонных образований. — как доказательство, что всякое извержение определяется излиянием на поверхность определенного количества магмы, — что в образовании купола и обелиска мы имеем в малом масштабе объяснение колоссальных форм многих вулканов древних вулканических областей, — что причудливые, зубчатые формы вершин таких вулканов представляют результат не разрушения их, а созидания, как выражается теперь Lacroix — *le résultat d'un phénomène constructif et non destructif.*

Штубель снова старается в этой брошюре ответить на вопрос об источнике вулканических сил, опираясь на морфологиче-

*) *Rückblick auf die Ausbruchperiode des Mont Pelée auf Martinique 1902 bis 1903 vom theoretischen Gesichtspunkte aus.* Leipzig 1904. 1-24. Veröffentlicht d. völk. und. Abtheil. d. Grassi-Museums zu Leipzig.

скіе признаки новообразованій при всякомъ изверженіи, на ихъ объемъ и отношеніи къ продуктамъ прежняго здѣсь возбужденія вулканизма. Покойный вулканологъ недостаточно категорически, быть можетъ, высказывалъ при этомъ мысль о необходимости соотвѣтствующихъ петрографическихъ изслѣдованій, которыя позволяютъ приблизиться къ пониманію физико-химическихъ процессовъ, совершающихся на недоступныхъ глубинахъ, въ очагахъ магмы. Везукоризвенія изслѣдованія *Lacroix* приводятъ въ этомъ отношеніи къ заключенію, очень существенному для идей Штюбеля, - что вулканическіе очаги вулкановъ *Mont Pelée* и *La Soufrière* на С. Винцентѣ не могли имѣть между собой какого нибудь непосредственнаго сообщенія, что изверженія этихъ вулкановъ относятся къ совершенно локализованнымъ очагамъ. Съ другой стороны полное совпаденіе наиболѣе крупныхъ пароксизмовъ обоихъ вулкановъ въ теченіе 1902-1903 годовъ заставляетъ искать объясненія пробужденія ихъ дѣятельности въ какой либо общей причинѣ. *Lacroix, Sarrasin* и другіе видятъ эту причину въ глубокихъ тектоническихъ процессахъ, на вѣроятность которыхъ указываетъ и положеніе группъ Малыхъ Антильскихъ о-вовъ на окраинѣ глубокой впадины Карибскаго моря. Съ періодами пробужденія вулканическихъ силъ на Мартиникѣ и С. Винцентѣ совпадаетъ вообще и время сильныхъ изверженій въ Сальвадорѣ (Изалько), Гватемалѣ (Санта Марія), Никарагуа (Масайя), Мексикѣ (Колима); воѣ эти изверженія не сопровождались сколько нибудь сильными землетрясеніями, что можетъ служить доказательствомъ, что нѣтъ непосредственной связи между землетрясеніями и вулканическими изверженіями; а съ другой стороны и этотъ замѣчательный пері

одъ даль примѣръ, что сильныя вулканическіе пароксизмы на Мартиникѣ и С. Винцентѣ сопровождались сильнѣйшими земле трясеніями въ очень удаленныхъ областяхъ, именно въ Гватемалѣ 18 апрѣля и 23 сент. 1902 г. и 12 января 1903 г.

Разносторонняя критика ученія Штубеля и новыя наблюденія подтверждаютъ зависимость вулканизма отъ общихъ тектоническихъ причинъ, но выраженіе этой зависимости представляетъ еще необъятное поле для новыхъ изслѣдованій.

Мысль положить въ основу пониманія и толкованія вулканическихъ горъ, включительно даже до ихъ внѣшнихъ формъ, исторію жизни или постепеннаго умиранія подземнаго очага представляетъ одну изъ оригинальныхъ сторонъ ученія Штубеля. Но окончательный его выводъ, что однѣхъ формъ вулканическихъ горъ и строевія ихъ недостаточно для возстановленія исторіи вулканическаго очага, давно уже былъ предусмотрѣнъ геологами. Ключъ къ возстановленію исторіи подземнаго очага не въ внѣшнихъ формахъ вулканическихъ горъ, а въ матеріалѣ этихъ горъ. Въ объясненіи послѣдовательности измѣненій такого матеріала (циклы и фазы см. дальше), только и можетъ быть основаніе дѣйствительнаго пониманія механизма изверженія и внѣшняго проявленія вулканической энергіи.

Т и п и в у л к а н и ч е с к и х о ч а г о в ъ.

Если прослѣдить, каковы геологическія пространства, окаймленныя вулканическими линіями или рядами и группами вулкановъ, можно увидѣть, что это по преимуществу области новѣйшаго опусканія и что вулканическія зоны сопровождаютъ на небольшомъ разстояніи линіи разлома, или плоскости, по которымъ произошло значительное перемѣщеніе между участкомъ суши, собраннымъ въ складки и теперь приподнятымъ, и другимъ,

погрузившимся подъ уровень моря. Мы уже говорили, что Эюссъ дѣлаетъ отсюда выводъ о соотношеніи между изостазіей и вулканизмомъ; давленіе опустившихся массъ вліяетъ на подъемъ эруптивной магмы.

Вулканическія линіи можно классифицировать согласно съ *M. Lévy** въ нѣскольکو простыхъ системъ; онъ показывае также отношеніе этихъ системъ къ различнымъ категоріямъ магмы.

Онъ различаетъ:

1) области опусканія складчатыхъ зонъ. Эти области въ своемъ очередь можно свести къ четыремъ категоріямъ.

а) опусканія о в а л ь н ы я о р е л и з е м н о - м о р с к і я - западная часть Средиземнаго моря, разделенная на двѣ эллиптическихъ области о-вами Корсика и Сардинія, море Эгейское, Венгерская низменность, Антильское море, южная часть Каспійскаго моря.

б) опусканія с т о л о в ы х ъ странъ (*en tables d'orées* - типъ Колорадо и Юта).

в) опусканіе д у г о о б р а з ы м ы р я д а м и (отъ перебросовъ *disruptives*) - на восточной окраинѣ Азіи: Японія, Филиппинскіе с-ва.

г) опусканіе у д л ы н е н ы м и з о н а м и на восточной сторонѣ Тихаго океана - вулканическія линіи Аляски, Калифорніи, Анда.

2) Области опусканія линейныя *N-S* напр. независимо отъ складчатыхъ зонъ; два типа - Атлантическая линія и Эритрейская.

* *M. Lévy sur la coordination et repartitions des fractures et des affondrements de l'écorce terrestre et relation avec les épanchements volcanique. Bull. de la Soc. Geol. de France. III, 1898, XI.*

Эти различные типы представляют формы, ^{въ} / которыхъ выражается дислокація. *M. Levy* показалъ, что магма вулканическихъ изверженій отличается замѣчательнымъ постоянствомъ въ вулканическихъ линіяхъ, сопровождающихъ линейныя зоны опусканія (Анды), опусканія столовыхъ странъ (Колорадо), и по оси Эритрейской впадины. Наоборотъ, характеръ магмъ болѣе разнообразенъ въ опусканіяхъ овалныхъ, поясовъ перебросовъ и вдоль Атлантической линіи. Если исключить послѣднюю область, тектоническія особенности которой скрыты отъ насъ, можно сказать, что на глубинѣ земной коры существуетъ два типа вулканическихъ очаговъ.

1) Одинъ, представляющій колоссальное цѣлое; съ нимъ сообщаются линейныя дислокаціи - Анды, Колорадо, Эритрейская впадина.

2) Рядъ овалныхъ опусканій соединяется съ независимыми очагами уже изолированными и дающими различныя магмы.

Подобныя же отношенія между характеромъ магмъ и характеромъ вулканическихъ линій можно отличить и для изверженій третичнаго времени.

Недавно *Becke*^{*)} и *Phillips*^{*)} независимо другъ отъ друга пришли къ выводу, что новыя вулканическія породы распределяются въ двѣ группы, представляющія каждая серію родственныхъ породъ. Тихоокеанская группа связана съ областями третичной складчатости, а Атлантическая развита въ обла-

Die eruptivgebilde des Bömischen Mittelgebirges und des amerikanischen Landes. *Min. u. petr. Mitt.* 1903.

^{*)} Contributions to the Petrology of British East Africa. *Min. Magazine*, 1903, 13.

стях сбросовой дислокації. Каждая изъ этихъ группъ соот-
вѣтствуетъ какъ бы стабильному очагу вулканизма. Тихоокеан-
скій очагъ даетъ по сравненію съ атлантическимъ магмы съ
преобладаніемъ болѣе легкихъ элементовъ, или съ менѣе зна-
чительнымъ атомнымъ вѣсомъ, именно Na, Mg, Al, Si -надъ эле-
ментами болѣе тяжелыми, какъ U, Ca, Fe . Въ особенности ти-
хоокеанскія породы богаче SiO_2 и Al_2O_3 . Напр. породы одна-
ковы какъ базальты но различнаго типа содержатъ: - бора-
скихъ горъ (атлантическаго очага) - SiO_2 - 40,1%, Al_2O_3 -
18,6%, изъ Авя (тихоокеанскаго очага) - SiO_2 - 49,8%, Al_2O_3 -
18,2%. Атлантическій типъ заключаетъ преимущественно та-
кія породы, какъ трахиты, фонолиты, тефриты, (т.е. трахиты
и фелъспатидсвѣя породы) и относительно основныя базальты,
а въ тихоокеанскомъ типѣ - преобладаютъ ріолиты, дациты, въ
особенности анлезиты и относительно кислые базальты.

Изъ этихъ примѣровъ мы видимъ, что только подробное все-
стороннее геологическое изслѣдованіе вулканическихъ облас-
тей и петрографическое изученіе продуктовъ вулканизма позво-
ляють намъ пойти ближе къ разрѣшенію вопроса о харак-
терѣ и распредѣленіи подземныхъ вулканическихъ очаговъ, а
слѣдовательно и сущности вулканизма.

П о д в о д н я и з в е р ж е н і я. Вулканическая
энергія проявляется не только на поверхности земли, (субъ-
марально); она проявляется въ очень обширныхъ размѣрахъ и
на двѣхъ морей и океановъ. Такъ какъ среди геологическихъ об-
разованій прошлаго преобладаютъ морскія отложенія, то для

геолосга представляють не малій інтересъ подводныя проявленія вулканической энергій.

Въ 1783г. имѣло мѣсто вулканическое изверженіе въ 30 мил. къ W отъ Рейкіавика у береговъ Исландіи. Со дня океана поднялся островъ, извергавшій "огонь и дѣмъ", но менѣе чѣмъ въ годъ морскія волны разрушили этотъ островъ, сложенный изъ рыхлой пемзы и на мѣстѣ его остался только подводный сифъ.

Въ 1796г. въ Беринговомъ морѣ къ западу отъ Увьялски возникъ вулканической островъ Іоанна Богослова; изверженіе было настолько энергичнымъ, что бомбы выбрасывались на о-въ Умнякъ въ разстояніи 30миле. Вулканической конусъ продолжалъ возростать до 1823г. Наибольшая высота его достигала до 2500футовъ; съ тѣхъ поръ онъ значительно уменьшился, а въ 1883г. былъ замѣченъ въ полной дѣятельности новый вулканъ въ полумилѣ къ сѣверо-западу отъ стараго. Неоднократныя подводныя изверженія были замѣченны въ Средиземномъ морѣ. Наиболее замѣчательное было въ 1831 г. когда между Сициліей и берегами Африки возникъ недолговѣчный островъ, известный подъ разными названіями - Грегема, Фердинанда, Юлія. Островъ Пантеларія къ юго-западу отъ Сициліи такого же вулканическаго происхожденія, но въ историческое время на немъ не было изверженій. а въ 1891г. послѣ сильнаго землетрясенія произошло подводное изверженіе въ 4миляхъ отъ острова; море пришло въ кипѣніе, покрылось на протяженіе одного километра черными шлаковыми бомбами, съ силой выбрасываемыми надъ уровнемъ моря. Въ Тихомъ океанѣ наблюдались изверженія въ 1867 г., 1871 и 1885г.г. среди группы о-вовъ

Товарищества (Тонга).

На многочисленныхъ вулканическихъ островахъ Тихаго океана совершенно неизвѣстно породе континентальнаго типа; они часто окружены коралловыми рифами, а на нѣкоторыхъ изъ нихъ встрѣчаются морскаго происхожденія известняки, вѣроятнаго третичнаго возраста. Одни изъ вулканическихъ конусовъ этихъ острововъ остаются спокойными со времени ихъ открытія, другіе время отъ времени обнаруживаютъ дѣятельность. Замѣчательная цѣпь вулкановъ можетъ быть прослѣжена отъ о-вовъ Санта Крузъ до южной оконечности группы Ново-Гевбридскихъ на разстояніи до 600 миль. Каждый изъ такихъ острововъ соотвѣтствуетъ положенію отдѣльнаго выволного канала, вокругъ котораго накоплялся извергаемый матеріалъ до высотъ болѣе 4755 ф. надъ дномъ океана. Вулканы о-ва Гага-йи поднимаются со дна океана болѣе 30000 футовъ. Во многихъ случаяхъ вулканическіе конусы не поднимаются до уровня моря, давая лишь поводъ для развитія на нихъ коралловыхъ построекъ. Всѣ эти факты заставляютъ предполагать, что дно Тихаго Океана представляетъ широкую арену проявленія вулканической энергіи.

Везувій и Этна начали развиваться какъ подводные вулканы еще третичнаго времени. Группа о-вовъ Санторина представляетъ разрозненныя части подводнаго вулкана; матеріалъ этихъ о-въ состоитъ изъ остатковъ известняковъ и сланцевъ погребенныхъ подъ отложеніями туфа (трессы), шлаковъ и лавъ; туфы съ современными морскими раковинами (туфогеновые слои) залегаютъ еще на высотѣ до 600 ф. надъ уровнемъ моря, слѣдовательно, вмѣстѣ съ сопровождающими ихъ дѣлами они

испытали послѣ своего отложенья на двѣ моря значительное подвѣтіе. По мнѣнію Фуке средняя часть острова исчезла уже во время человѣческаго существованія.

Въ Индѣйскомъ океанѣ о-въ Св. Павла, удаленный отъ ближайшихъ береговъ на 2000 миль, о-въ *Christmas* (Рождества), *Reminon* представляютъ также замѣчательные примѣры вершинъ вулканическихъ конусовъ, поднимающихся со дна глубокаго океана. Наблюденія на такихъ островахъ показываютъ, что лавы, излившіяся подъ водой, отличаются шлаковыми сложеніемъ, но на значительныхъ глубинахъ подъ вліяніемъ давленія воды, лавы получаютъ плотное сложеніе.

Гики суммируетъ слѣдующимъ образомъ всѣ извѣстные факты о подводныхъ изверженіяхъ:

1) Широкое распространеніе вулканическаго матеріала на двѣ океановъ, какъ показываютъ глубоководныя изслѣдованія и развитіе вулканическихъ о-въ заставляетъ признать, что вулканическая энергія проявляется на двѣ океановъ гораздо шире, чѣмъ на поверхности суши, и съ большей мощностью. Не рѣдко незначительные о-ва, какъ напр. о-въ Рождества, поднимающійся надъ уровнемъ моря на 1100 ф., представляютъ въ дѣйствительности колоссальныя горы въ 15000 и болѣе тысячъ футовъ. Вулканы Сававичевыхъ о-въ, поднимающіеся со дна моря глубиной до 18 т. ф. до высоты 14 т. ф. надъ уровнемъ моря, образуютъ вулканическую пѣпь, превышающую высокія вершины Гималаевъ.

2) Подводныя изверженія повидимому создаютъ чаще высокіе вулканическіе конусы, чѣмъ формы широкихъ плато. Они распредѣляются вдоль ясно выраженныхъ линій, равно какъ безъ

порядочными группами. Линейное расположение отчетливо выражено вулканами Алеутских о-въ, Японіи, Явы и Антильских. Какъ правило, дѣятельность вулканическихъ конусовъ возбуждается послѣдовательно вдоль такихъ направленій; одни пробуждаются къ дѣятельности, другіе умолкаютъ. Такъ въ группѣ Сандвичевыхъ о-въ было 15 дѣйствующихъ вулкановъ, изъ которыхъ теперь всѣ, за исключеніемъ трехъ вулкановъ о-ва Гавайи, находятся въ бездѣйствіи.

3) По свойствамъ лавъ, отложенныхъ первоначально на днѣ моря и поднятыхъ въ послѣдствіи, и бомбъ, выброшенныхъ при подводныхъ изверженіяхъ, можно сказать, что матеріалъ подводныхъ изверженій не отличается по своей структурѣ отъ матеріала при субъаэральныхъ изверженіяхъ. Этотъ выводъ важенъ для пониманія древнихъ вулканическихъ образований, значительное количество которыхъ, какъ перемежающихся съ морскими осадками, слѣдуетъ признать за подводныя.

4) Перемежаемость подводного вулканическаго матеріала съ такими отложеніями, какъ фораминиферовые, радіоларіевые иллы, раковинныя банки и коралловые известняки, показываетъ что періоды пароксизмовъ чередовались паузами, въ теченіе которыхъ морскіе организмы развивались надъ мѣстами изверженія очень обильно. Многіе субъ-океанскіе вулканическіе конусы начали возростать еще съ третичнаго времени. Въ древнихъ вулканическихъ областяхъ подводныя вулканы связаны преимущественно съ мелководными отложеніями.

Признаки изверженного происхо-
жденія горныхъ породъ по наб-
люденіямъ надъ современными
лавами.

Наблюденія надъ лавами показываютъ, что изверженные гор-
ныя породы отличаются или могутъ отличаться между прочимъ
слѣдующими признаками:

1) Присутствіемъ стекловатаго вещества. 2) Порфировой
структурой. 3) Характерной стлѣльностью - столбчатой. 4)
Особыми сложениями - флюидальными, сферолитовыми и перли-
товыми пористыми, шлаковыми. 5) Такъ называемой пятнистостью
или шпоровымъ сложениемъ. Подъ такимъ названіемъ понимаютъ
разнородное сложение отъ обособленія въ массѣ порола при
ея остываніи частей, отличающихся отъ остальной массы инымъ
минералогическимъ составомъ, обыкновенно изъ элементовъ бо-
лѣ основнаго характера. Такія выдѣленія имѣютъ видъ желва-
ковъ или конкрецій. Болѣе кислыя выдѣленія имѣютъ видъ по-
лосъ (пластинчатая пятнистость). 6) На потокахъ лавъ сосре-
женныхъ вулкановъ замѣчено, что стекловатая разность (обси-
діанъ, смоляной камень) образуется при быстромъ охлажде-
ніи лавы, напр. въ заливныхъ жилахъ, въ потокахъ - на верх-
ней корѣ. Внутреннія массы жилъ и потоковъ, остывавшія мед-
леннѣе, дифференцируются на составныя части. Слѣдовательно,
эти факты показываютъ, что медленное остываніе оказываетъ
вліяніе на образованіе крупно-кристаллическаго сложения.
7) Измѣненіемъ структуры и состава породъ, соприкасающихъ
съ лавами. Эти послѣднія измѣненія называютъ контак-
товыми метаморфизмомъ. Степень такого

измѣненія зависятъ отъ теплопроводности породъ; хорошіе проводники измѣняются на большее разстояніе отъ лавы, плохіе — на меньшее. Интрузивная залежь измѣняется менѣе, чѣмъ потокъ, пересѣкающій породы въкrestъ ихъ простиранія: это зависитъ оттого, что по простиранію слоевъ теплота передается лучше (случай потока), чѣмъ въкrestъ простиранія (случай залежи). Осадочныя породы обнаруживаютъ измѣненіе какъ отъ обжига: песчанники и глины обжигаются, становятся тверже, принимаютъ красную окраску (отъ перехода закиси желѣза въ окисъ); превращаются въ фарфоровую массу или стекловатую массу. Известняки принимаютъ кристаллическое сложеніе и переходятъ въ мраморъ. Каменный уголь переходитъ въ коксъ; бурый уголь сжигается или иногда превращается въ блестящее вещество, подобное каменному. Часто приводятъ примѣры превращенія бурого угля въ каменный въ контактѣ съ базальтомъ въ буроголенькихъ копяхъ около Касселя (Мейснера). Тамъ дѣйствительно произошло превращеніе бурого угля въ блестящій каменный уголь, но это исключительный случай, который можно объяснить просто вторичной инфильтраціей минеральнаго вещества въ пористый уголь, въслѣдствіе чего и получился бурый уголь съ 80% золы; первичный уголь былъ гораздо бѣднѣе золой^{*)} Измѣненіе каменнаго угля подъ вліяніемъ контактоваго дѣйствія не можетъ выразиться въ уменьшеніи количества золы, а только въ удаленіи летучихъ углеводородовъ и молекулярномъ измѣненіи. Это хорошо видно по анализамъ угля измѣненнаго дѣйствіемъ изверженной массы около Фифкирхена въ Баваріи

^{*)} Rosenthal Die Metamorphosierende Einwirkung der Basalte auf die Braunkohlenlager bei Cassel. Z f pr Geol. 1893 X 10

(по формѣ Рату):

	зола	сѣра	коксъ	битумъ
А. --	8,29%	2,074%	78,7%	20,3%
В. --	9,73%	1,112%	87,8%	12,2%
С. --	45,86%	0,151%	35,3%	4,7%

А - составъ угля внѣ вліянія изверженной массы; В - составъ угля въ разстояніи около 0,3 метра отъ контакта; С -- угля непосредственно изъ контакта.

Даже гранитъ обнаруживаетъ контактовое измѣненіе съ базальтомъ (Иви) - ортоклазъ сплавляется.

Различаютъ контактовый метаморфизмъ - экзогенный (на породахъ соприкасающихся) и эндогенный (въ самой изверженной массѣ). Вообще всѣ эти явленія выражаются - въ вліяніи высокой температуры изверженной породы, (такія измѣненія называютъ каустическимъ метаморфизмомъ, также пироморфизмомъ), въ охлаждающемъ вліяніи окружающихъ породъ, въ частичномъ или совершенномъ раствореніи готовыхъ минераловъ и образованіи новыхъ. Раствореніе происходитъ подъ вліяніемъ расплавленной массы и въ особенности распространяется на отторженцы, попадающіе въ лаву; или же оно выражается въ дѣйствіи на окружающія породы водяного пара и летучихъ веществъ (хлористыхъ и фтористыхъ), выделяемыхъ при затвердѣваніи лавы. Последние явленія на лавахъ можно замѣтить только въ верхахъ вулкановъ, обычно же летучія вещества выделяются лавой на воздухъ.

Современные вулканы даютъ возможность изучать образованіе нѣкоторыхъ минераловъ:

1) путем возгона - S , $NaCl$ и хлориды Hg , Fe , Cu , Pb ;

2) путем действия газовъ на твердые тѣла - вліяніе въ силикаты SiO_2 , какъ SO_2 , такъ и H_2S даютъ Si_2O_4 , сильно дѣйствующую на различные минералы; при этомъ происходитъ образованіе растворимыхъ сульфатовъ и обогащеніе породъ кремнеземомъ.

Стѣны верей вулкановъ, также лава около fumarolъ представляютъ обыкновенно различную степень такого измѣненія, замѣтнаго по различной окраскѣ породъ; часто породы превращаются при этомъ въ землистую бѣлую массу, состоящую существенно изъ кремнезема. Сульфаты часто отлагаются около fumarolъ значительными массами - горькая соль (изъ MgO), купоросъ (изъ FeO), гипсъ, (какъ измѣненіе $CaCO_3$), глауберова соль (изъ окиси натрія) квасцовый камень (изъ глаукозема и калия).

3) при дѣйствіи паровъ и газовъ другъ на друга - образованіе обиды ($SO_2 + 2H_2S = 3S + 2H_2O$; $H_2S + O = S + H_2O$) сульфиды ($CuCl_2 + H_2S = CuS + 2HCl$), окислы ($2FeCl_3 + 3H_2O = Fe_2O_3 + 6HCl$)

В У Л К А Н И З М Ъ В Ъ П Р О Ш Л О М Ъ .

И з в е р ж е н н ы е г о р н ы е п о р о д ы , к а к
с о с т а в н а я ч а с т ь з е м н о й к о р ы .

Основаніемъ для пониманія происхожденія изверженныхъ породъ и ихъ особенностей служатъ наблюденія надъ современными дѣйствующими вулканами. Не менѣе важно для познанія сущности вулканизма изученіе древнихъ изверженныхъ породъ, которое открываетъ передъ нами такіе результаты вулканизма, которыхъ ни на одномъ вулкани мы видѣть не можемъ; изверженные породы вводятъ насъ въ познать породъ глубинныхъ, расположенныхъ ниже

верхней или вулканической зови земной корн.

Если изверженные породы выступали на поверхность съ древнѣйшихъ временъ, то и денудация постоянно работала надъ размываніемъ и ссываніемъ этихъ массъ. Чѣмъ значительнѣе была денудация, тѣмъ болѣе глубокія части изверженныхъ массъ обнажались теперь на поверхности. А *поэтому* можно ожидать, что мы встрѣтимъ на земной поверхности какъ породы, составляющія части массъ отвердѣвшихъ на поверхности, такъ и породы, представляющія выполнение вывального канала. Съ другой стороны вѣдется утверждать, что какая нибудь давняя масса интрузивныхъ породъ, теперь размытая и видимая на поверхности, всегда была связана съ какими нибудь поверхностными проявленіями вулканизма.

Какъ общее правило принято, что между поверхностными и глубинными массами вулканическихъ образованій наблюдается вѣкоторое различіе въ сложеніи, если не по составу. Последнія отвердѣвали медленно среди горячихъ горячекъ породъ подъ значительнымъ давленіемъ, а первыя болѣе быстро въ соприкосновеніи съ атмосферой или холодными горячими породами. Это различіе настолько важно для толкованія исторіи вулканическихъ явленій, что его необходимо хорошо себѣ уяснить. Дѣйствительныя наблюденія показываютъ, что части изверженныхъ массъ, отвердѣвавшія на вѣкоторой глубинѣ, имѣютъ вообще болѣе крупное кристаллическое сложеніе, чѣмъ части, истекавшія лавой; послѣднія имѣютъ обыкновенно ячеистое шлаковое сложеніе и сопровождаются характерными отложеніями пепла. Если бы не это

ясное петрографическое различие между этими двумя группами. Легко можно было бы считать части, застывающія какъ лава и части, затвердѣвающія на некоторой глубинѣ. На современныхъ вулканахъ мы видимъ только первая, а вторія намъ недоступны. Только денудация обнажаетъ части изверженныхъ массъ, составляющихъ продолженіе излившихся, и обнажаетъ даже такія массы, которыя никогда не были непосредственно связанными съ вулканическими породами.

Петрографическія провинціи и вулканическіе циклы. Изученіе изверженныхъ породъ показало слѣдующіе важные факты:

1) Они не распространяются по всей землѣ съ неизмѣнными петрографическими качествами, но группируются по болѣе или менѣе отдѣльнымъ провинціямъ, въ каждой изъ которыхъ среди различныхъ изверженныхъ породъ можно отыскать одну общую родственную семью. Это родство (~~консолидированности~~) въ минералогическомъ составѣ и микроскопическомъ строеніи, хотя хорошо сохраняется въ данной провинціи, но не сохраняется для смежныхъ, которыя отличаются въ свою очередь другими особенностями.

2) Въ каждой отдѣльной провинціи замѣчается болѣе или менѣе опредѣленная послѣдовательность въ порядкѣ появленія различныхъ породъ или ихъ разнородностей, и эта послѣдовательность, хотя ея главныя черты можно отыскать вездѣ въ широкомъ подобіи, подвержена значительнымъ истиннымъ колебаніямъ. Въ областяхъ, гдѣ эруптивная энергія возобновлялась неоднократно, можно замѣтить повтореніе той же послѣдовательности

Въ періодъ покоя магма какъ бы возобновляется въ своихъ свойствахъ. Каждый изъ такихъ періодовъ, въ теченіе котораго происходило такое повтореніе послѣдовательныхъ изверженій, Гіки называлъ вулканическимъ ц и к л о м ъ .

3) Не только вслѣдствіе процесса дифференціаціи магмы въ самомъ очагѣ изверженія породы въ концѣ цикла изверженія отличаются отъ породъ въ началѣ, но даже въ самой изверженной массѣ послѣ ея изліянія изъ очага въ земную кору часто происходитъ отдѣленіе минеральныхъ составныхъ частей, именно болѣе кислыхъ въ одну часть, и болѣе основныхъ въ другую.

Нѣкоторыя изъ этихъ особенностей случайно обнаруживаются и въ связи съ современными вулканическими явленіями, но только тамъ, гдѣ денудація обнажила болѣе древнія изверженія. Эти особенности проявляются съ достаточной ясностью. На современныхъ вулканахъ замѣчено только, что часто легкія, такъ называемыя трахитовыя лавы находятся на вершинѣ вулкана, тяжелыя базальтовыя — у основанія, напр. на Везувіѣ и Тенерифѣ. Замѣчено также, что въ нѣкоторыхъ вулканахъ изверженіе трахитовыхъ лавъ предшествуетъ изверженію базальтовыхъ, напр. на Везувіи старая Somma состоитъ главнѣйше изъ кислыхъ лавъ, тогда какъ новыя изверженія доставляютъ преимущественно тяжелыя основныя лейцитовыя лавы.

Петрографическія провинціи. Наибо-
лѣе изученнымъ примѣромъ ихъ являются окрестности Христіаніи по изслѣдованію Врѳггра. Онъ показалъ, что изверженія породы этой части Скандинавіи составляютъ послѣдовательный рядъ, отличающійся своимъ высокимъ содержаніемъ натрія и за-

ключають нѣсколько типовъ, рѣдко наблюдаемыхъ въ другихъ мѣстахъ. Онѣ нащель генетическую связь между различными членами этой серіи. Съ одной стороны здѣсь развиты совершенно кислая порода, заключающая различные разновидности гранита и кварцеваго сіенита съ кислыми кварцевыми авгитовыми сіенитами (акеритъ); особенную промежуточную группу основного авгитоваго сіенита (лаурвикитъ), нефелиноваго сіенита (лаурдалитъ) и слюдястаго сіенита, а съ другой стороны - совершенно основныя породы, представляемыя камptonитомъ, бостонитомъ и оливково-габбро-діабазами.

Другой провинціей, отличающейся петрографическимъ характеромъ и послѣдовательностью породъ, является каменноугольная область южной Шотландіи. Она представляетъ большое развитіе андезитовъ съ нѣкоторыми особенными трахитами и обильную серію болѣе основныя породы, измѣняющихся отъ безъ-оливиновыхъ долеритовъ до базальтовъ и ламбуритовъ.

Замѣчательную провинцію представляетъ линія древнихъ вулканическихъ Италіи по ея западному берегу отъ Тосканы до Неаполя. Эта провинція характеризуется обиліемъ лейцитовыхъ породъ, которыя въ то же время сопровождаются трахитами и породами безъ лейцита. Большое разнообразіе продуктовъ обнаруживается въ каждомъ эруптивномъ центрѣ, однако рядъ типовъ остается замѣтно однообразнымъ по своему.

2) П о с л ѣ д о в а т е л ь н о с т ь н з в е р ж е н ь н ы х п о р о д ь. Въ различныхъ вулканическихъ областяхъ обнаруживается болѣе или менѣе явный мѣстный порядокъ послѣдовательности породъ, выражающійся въ появленіи разни-

чних петрографических типов каждой провинции. Намеки на это обнаруживались уже и на продуктах современного вулканизма. (действующих и потухших вулканов); очевидным же это сделалось после изучения древних вулканических областей.

В 1868г. Рихтгофен высказал положение на основании изучения горных пород в Европе и С.Америке, что можно установить общий порядок появления изверженных пород; этот порядок начинается сиппидом, за которым следуют андезиты, трахиты и риолиты и, наконец, базальты. Первые два члена представляют лишь отличие одной и той же породы, и можно сказать, что ряд начинается материалами промежуточного состава, затем следуют фазы возрастания кислотности до риолита; оканчивается ряд совершенно основными породами.

Можно ли считать такой порядок общим для всех случаев, существует большое разнообразие мнений; а еще более важно серьезно причин, которые вызывают это явление. Брэггер говорит, что изверженные породы Христиании образуют не только отдельную петрографическую провинцию; но представлять и генетическую связь между собой, появляясь в определенном порядке согласно химическому и минералогическому составу. Они относятся к девонскому возрасту, составляя как интрузивные массы и дайки, так и поверхностные излияния. Древнейшие излияния были совершенно основными, представляя силикатные габбро-диабазы. С ними были связаны также и интрузивы антозиты и бостовиты. Затем последовали нефелиновые сиениты, за которыми граниты, а в конце цикла снова обнаружилось преобладание основных пород; в вид интрузий

и узкихъ жилъ діабазъ и близкихъ типовъ, часто миндакеменнаго характера.

Въ Невадѣ, въ *Elmer District, Nagai* установилъ среди кру-
пныхъ изверженій третичнаго возраста наиболѣе равніа извер-
женія роговообманковаго андезита и роговообманковаго слю-
дистаго андезита, за которыми послѣдовали дацитъ, ріолитъ и
ріолитовые пензы и туфы. Онъ указываетъ далѣе, что за ріоли-
тами слѣдовали пироксеновые андезиты, связанные съ базальта-
ми, которые заключаютъ эту серію.

Въ Иллинойскомъ штатѣ намѣчена слѣдующая послѣдователь-
ность: андезиты средняго состава, изверженія болѣе основныхъ
андезитовъ и базальты и болѣе кислыхъ андезитовъ дацита, за-
тѣмъ базальтъ, ріолитъ и базальтъ; порядокъ подвергается не-
отвѣтнымъ нарушеніямъ на различныхъ прострѣствахъ, но общая
послѣдовательность идетъ отъ породъ средняго состава черезъ
типы болѣе кислые и менѣе кислые до породъ, богатыхъ кремне-
земой съ одной стороны и другихъ очевъ основныхъ съ другой.
Spurr для лавъ области *Great Basin* западныхъ Штатовъ ус-
таваиваетъ такую послѣдовательность: наиболѣе ранними яв-
ляются грунны кислые породы; въ развитія однако повсюду и
весь рядъ представляется - 1) ріолиты (гранитъ и аляскитъ),
2) андезиты различныхъ типовъ съ постепеннымъ переходомъ къ
слѣдующимъ, 3) ріолиты (въ то же время съ оливновыми базаль-
тами), 4) андезиты различныхъ типовъ съ постепеннымъ перехо-
домъ къ слѣдующей группѣ, 5) базальты (въ то же время съ ріо-
литомъ). Между 1 и 2, также 3 и 4 широкіе непрерывны по вре-
мени.

Lawson и *Palache* нашли замечательную последовательность в серии плиоценовых извержений около С. Франциско. Не менее пяти, даже шести циклов там было, и в каждом повторялся тот же порядок в появлении вулканических продуктов. В каждом древнейшими были андезиты, следующие базальты, а затем риолиты. На Камчатке можно установить последовательность: гинеротевско-авгитовые андезиты, более кислые рогово-обманковые и слюдяные андезиты и дациты, затем опять основные авгитовые андезиты и базальты (базальты-оливиновые).

Наиболее совершенный вулканический ряд представляют Зри-танские о-ва, где в течение от архейской эры до пермского периода каждый период заключает вулканические образования. Здесь раскрывается длинная история последовательных вулканических циклов на сравнительно небольшом пространстве. Каждый из таких циклов обнимает продолжительное время, а промежутки между ними еще более продолжительны. С пермского периода до древнейшей части третичного занимает почти полное прекращение вулканизма; для триасового, юрского и мелового периодов совершенно неизвестно никаких следов современных извержений пород. В начале третичного периода, напротив, вулканизм пробуждается и создает обширные плоскогорья и холмы Антрима и внутренних Гебридов. Результаты изучения последовательности в каждом из периодов проявления вулканизма показали, что каждый представляет более или менее совершенный цикл петрографического развития. Наиболее древними извержениями являются вообще п р о м е

а у т о ч н е или о с н о в н е, затѣмъ породы ста-
новятся болѣе к и с л о т н ы, а завершается цѣпью болѣе
о с н о в н ы и и з л и я н и я. Въ бассейнѣ *Firth of Forth*, гдѣ
каменноугольная серія развита наиболѣе полно, древнѣйшія из-
верженія представляются главнѣйше андезитами, но исключе-
ни и болѣе основныя изверженія. Въ *East Lothian* эти породы
перекрѣты толстой массой трахитовъ, которые сопровождаются
куолами фюолита. Но въ послѣдующее время каменноугольнаго
известняка изверженія состоятъ главнѣйше изъ базальтовъ, час-
то крайней основности. Въ третичномъ періодѣ на западѣ Шот-
ландіи цѣпью очень опредѣленной: на размытомъ мѣлу лежитъ
толща базальта, который къ вершинѣ сопровождается трахитами
и ихъ туфами. Затѣмъ слѣдуетъ массы габбро, заключающія перв-
дотвѣ. Эти пересѣкаются гранитами и гранофирами, хотя наибо-
лѣе поздними все таки является лѣйки базальта, пересѣкающія
всѣ остальные.

Какое же давать объясненіе этимъ фактамъ? Несомнѣнно, что
въ каждой обширной вулканической области можно установить из-
вѣстную послѣдовательность въ проявленіи изверженныя породы.
Порядокъ не является одинаковымъ повсюду, различія, можетъ
быть, слишкомъ велики, чтобы быть объяснимыми какою-либо
одной изъ предложенныхъ гипотезъ. Въ общемъ же есть основа-
ніе предполагать, что преимущественная послѣдовательность вы-
ражается, какъ указываю, въ измѣненіяхъ отъ среднихъ типовъ
къ болѣе кислымъ въ сопровожденіи изліяній и основного ма-
теріала. Этотъ предметъ такъ тѣсно связанъ съ дифференціа-
ціей магмы, что необходимо равнѣ остановиться на этомъ явле-
ніи.

3) Д и ф ф е р е н ц і а ц і я н з в е р ж е н н о ї
м а г м и. Этотъ предметъ изучался, говорятъ Гики, съ двухъ
различныхъ сторонъ, топографической и хронологической.) Прже,
де, всего, отдѣльныя изверженныя массы, видныя на поверхнос-
ти тщательно исследовались съ цѣлю опредѣлить природу оче-
видныхъ петрографическихъ отличій, которыя обнаруживаются
даже въ одномъ и томъ же матеріалѣ; во второмъ случаѣ разли-
чныя отдѣльныя изверженныя массы данной области группирова-
лись въ порядкѣ ихъ появленія и анализировались химически и
микроскопически, такъ что открывалось ихъ градація по сложе-
нію и структурѣ. (Въ одномъ случаѣ, мы имѣемъ передъ собою
дифференціацію интрузивной массы во время ея охлажденія и
отвердѣванія (случай а); въ другомъ, очевидно, мы познаемъ
расщепленіе магмы въ самомъ резервуарѣ, т.е. подземномъ оча-
гѣ, или осуществлявшееся во время проявленія вулканизма (слу-
чай в), или развивавшееся во время продолжительныхъ періо-
довъ покоя между послѣдовательными изверженіями (случай с).
Каждое изъ этихъ положеній вызвало много разсужденій въ ге-
ологической литературѣ.

а) Въ отношеніи отдѣльныхъ массъ изверженныхъ породъ, види-
мыхъ на поверхности, нетрудно собрать факты измѣненій ихъ
структуры и состава въ различныхъ частяхъ, хотя мнѣнія о
причинѣ такихъ измѣненій весьма различны. (Отличный примѣръ
дифференціаціи въ отдѣльнѣйшей массѣ изверженной породы описан
Dykens и Seal въ *Garabot Hill*. Значительная масса біотитова
го гравейта, которая здѣсь пересекаетъ слюдяные сланцы, пере-
ходитъ отъ порфиритоваго состоянія въ тоналитовое (кварцево
діоритовое). Вдоль ея юго-восточнаго края она окаймляется
поясомъ діорита съ сопровождающимъ его ультра-основнымъ по-

рсады. Займѣ обширная масса кислаго матеріала, на прострѣ^н ствѣ до 10 кв. миль, который возростаетъ въ своей кислотности отъ окраины, представляющихъ промежуточные типы рогово-обманково-гранита, тоналита, діорита и авгитового діорита, а вся серія оканчивается очень основными породами, какъ верлантъ (оливиново-діаллагоновая порода), пикритъ (оливиново-авгитовая) и змѣвикъ. Первымъ явленіемъ образованія не ридититъ, за которыми слѣдовали діориты, тоналиты и граниты въ порядкѣ возрастанія кислотности. Наиболее кислая часть всей массы проявляется въ видѣ узкихъ жилъ въ гранитѣ и тоналитѣ, состоящихъ изъ полевого шпата и кварца безъ желѣза и сто-магнезіальныхъ минераловъ.

Другой примѣръ приводитъ *Marker* въ области *English Lake*. Этого холма состоитъ изъ кислой породы, имѣющей структуру гранофира (т.е. полнокристаллической порфиновой породы съ взаимнымъ проростаніемъ кварца и ортоклаза) въ сопровожденіи обширныхъ массъ габбро и діабазы. Габбро представляетъ замѣчательное возростаніе удѣльнаго вѣса и основности по направлению къ краямъ всей массы. Въ центральныхъ частяхъ его удѣльный вѣсъ - 2,85, въ немъ заключается свободный кварцъ и содержаніе SiO_2 - 59,46%. Отъ такого состоянія онъ прогрессивно измѣняется къ краямъ, гдѣ удѣльный вѣсъ возростаетъ до 3,35, а содержаніе кремнезема понижается до 52,50%, а желѣзная руда мѣстами концентрируется до 25% всей породы. Гранофиръ моложе, чѣмъ габбро; это порода съ 71,60% SiO_2 , но къ окраинамъ, гдѣ она соприкасается съ наиболее основной зоной габбро, она утрачиваетъ кислый характеръ, воспринимая въ

себя части габбро. Въ послѣднемъ случаѣ периферическое измѣненіе обязано каустическимъ дѣйствіямъ кислой породы на другую безъ собственно процесса дифференціаціи въ самомъ гравофирѣ.

Мы видимъ здѣсь двѣ причины, которыя въ различныхъ случаяхъ производятъ периферическое измѣненіе въ структурѣ и составѣ изверженныхъ породъ: 1) дѣйствительная дифференціація ея собственной массы, вслѣдствіе чего болѣе основныя и болѣе кислыя составныя части раздѣлятся въ двѣ различныя массы. Подобный приѣмъ представляетъ штокъ габбро-діорита, заключающій мѣсторожденіе магнитнаго желѣзняка въ Вэлимаки въ Финляндіи. 2) Измѣненіе происходитъ на счетъ растворенія (ассимиляціи) одной породы въ другой въ контактахъ. Очевидно, что этотъ второй случай долженъ быть болѣе мѣстнаго характера и не можетъ распространяться отъ периферіи далеко въ массу изверженной породы.

в) Теперь увеличилось число наблюденій, показывающихъ, что процессъ дифференціаціи происходитъ въ широкомъ масштабѣ въ массахъ внутри земной коры. Въ некоторыхъ случаяхъ въ теченіе періода продолжительной вулканической дѣятельности, масса уже раздѣлилась на болѣе основныя и болѣе кислыя части, изверженія или интрузіи которыхъ происходятъ послѣдовательно или одновременно. Существованіе такой неоднородной массы хорошо иллюстрируется полосатыми габбро и другими подобными породами, когда ихъ матеріалъ выдвигается или пробивается одновременно отъ источниковъ совершенно различнаго химическаго и минералогическаго состава. Такъ третичные габбро о-ва Скандія заключаютъ частую переменуемость свѣтлыхъ и темныхъ по-

лось; первыя образованы главнѣйше лабродоромъ, съ нѣкото-
рымъ количествомъ авгита, уранизированной^{тут} роговой обманки
и магнетита, съ содержаніемъ SiO_2 въ 52%; вторыя состоятъ
почти изъ авгита и магнетита со 29,5% SiO_2 . Полосы парал-
лельны другъ другу, но чечевицеобразнаго характера и не
продолжаются на значительныя разстоянія. Что онѣ образова-
лись уже во время самаго изліянія и не представляютъ слѣд-
ствій процесса дифференціаціи на мѣстѣ ихъ залеганія, по-
казываетъ ихъ мѣстное изогнутіе и морщинистость; онѣ были
очевидно нарушены въ состояніи еще пластичности. Такія по-
роды представляютъ большое подобіе съ многими древними
гвейсами. (Такіе же примѣры одновременнаго существованія
основныхъ и кислыхъ частей въ одномъ вулканическомъ очагѣ
дають породы нижняго древняго песчаника въ центральной Шот-
ландіи, гдѣ среди андезитовыхъ и діабазовыхъ лавъ вѣдѣре-
ны одновременныя мѣлкія массы (*dykes*) кислыхъ дацитовъ и
брекчій изъ ріолитовыхъ или фелезитовыхъ обломковъ.

с) Болѣе общіе факты, какъ упомянуто, послѣдовательнос-
ти изверженныхъ породъ, указывающіе, что измѣненія ихъ ме-
ленно прогрессировали во время длительнаго вулканическа-
го періода, такъ что изверженный матеріалъ въ концѣ его
значительно разнится по составу отъ матеріала въ началѣ
изверженія. Трудно объяснить эту петрографическую послѣдо-
вательность какими нибудь другими основными, кромѣ по-
степеннаго отдѣленія составныхъ частей самой массы въ ея
очагѣ. Болѣе основныя части, какъ болѣе быстро отдѣляющія-
ся, выдѣляются первыми, оставляя въ остаткѣ болѣе кислую

магму для послѣдующихъ изверженій. Особенно отчетливо это установлено *Brandberg* на генетическихъ типахъ области Христіаніи. Отъ древнѣйшихъ изліяній серіи, наиболѣе основныхъ до послѣднихъ, наиболѣе кислыхъ (за исключеніемъ конечныхъ незначительныхъ жгль діабазовъ), онъ замѣтилъ непрерывный рядъ варіететовъ, связанныхъ такъ тѣсно переходными типами, что невозможно разсматривать ихъ иначе какъ происшедшими отъ одного источника. По отношенію къ древнѣйшей группѣ, онъ полагаетъ, что отъ первичной основной магмы, которая дала оливинно-габбро-діабазы, сначала поднятіе на болѣе высокій горизонтъ, а впоследствии перемѣщеніе снова на болѣе глубокій, была отдѣлена во время дифференціаціи диффузіей въ видѣ основной части другая, давшая интрузіи камтонита, а болѣе кислый остатокъ далъ матеріалъ для жгль и включеній (*Sheets*) босстонита. Этотъ процессъ дифференціаціи происходилъ не только въ очагѣ магмы, но и въ самихъ лейкахъ и *Sheets*, гдѣ они должны были садовательно происходить послѣ ихъ поднятія въ верхніе горизонты земной коры. Болѣе того, другой типъ дифференціаціи происходилъ вдоль западной и сѣверной окраины холма *Brandberg*, гдѣ оливиновый габбро діабазъ далъ зону основную почти изъ чистаго пироксена, которая при окристаллизованіи превратилась въ грубо-зернистый пироксенитъ, съ 95% пироксена. Затѣмъ въ *диаклитѣ* *Pikesfield*, послѣдними продуктами расщепленія часто являются кварцевые авгитовые діориты. Виссгеръ заключаетъ, что какое бы ни было объясненіе причинъ этихъ измѣненій, несомнѣнно дифференціація имѣла мѣсто, и что въ области Христіаніи одна и та же магма при различныхъ условіяхъ расщеплялась въ различныя группы горныхъ породъ.

съ различными химическими составомъ отдельныхъ членовъ.

Примѣры послѣдовательности изверженнаго матеріала третич-
ной области *Great Britain* (С. Америки) очень поучительны для
наблюденій въ составѣ магмы въ теченіе длительного
вулканическаго изверженія. Для области *Эврика Хагге* замѣча-
еть, что всѣ изверженныя породы можно раздѣлить на двѣ рѣз-
кія группы, кислую или полевошпатовую и основную или авгито-
вую. Въ первой наиболѣе древняя и наиболѣе основная часть
состоитъ изъ роговообманковаго андезита, которая незамѣтно
переходя въ роговообманковый слезяной андезитъ, переходитъ
затѣмъ постепенно черезъ прибавленіе кварца въ дацитъ, а за-
тѣмъ увеличеніемъ кварца и уменьшеніемъ роговой обманки при
появленіи ортоклаза - въ риолитъ. Наиболѣе древними лавами
пироксеновой группы были пироксеновые андезиты, которые по-
степенно переходятъ въ базальты. *Хагге* считаетъ, что невоз-
можно разсматривать это расщепленіе вулканическихъ продук-
товъ иначе, какъ происходящимъ отъ общаго резервуара.

Всякая теорія объясненія процесса дифференціаціи должна
считаться съ фактами, изложенными только что относительно
послѣдовательности изверженныхъ породъ, и въ особенности съ
фактомъ, что циклъ измѣненія въ составѣ магмы повторяется
снова и снова въ предѣлахъ той же области. Въ 1882 г. Гики
отмѣтилъ это повтореніе, какъ особенно поразительное въ ис-
торіи вулкановъ, напр. ограниченаго пространства Британіи
и высказалъ, что "такъ какъ послѣдовательныя изверженія по-
вторяются въ одной и той же области, очевидно, что тѣмъ или
другимъ путемъ во время продолжительныхъ перерывовъ между
двумя періодами изверженія магма возобновляется въ отноше-

ни ее составных частей, так что при возобновлении извержений, они снова начинаются основными и заканчиваются кислыми продуктами". Каждый из таких периодов, в которых происходит такое повторение, он и называл вулканическим циклом. Течение их не всегда полное, т.е. может и не быть более ранней или более поздней фазы. Но общий порядок появления пород сохраняется с замечательным постоянством. Особенно поразительным примером служит вулканическая область *Berkeley Hills*, где на сравнительно незначительном пространстве в течение периода было не менее пяти циклов.

Гипотезы о причинах дифференциации магмы. Различные гипотезы были предложены для объяснения такого очевидного изменения как в массах уже изверженных продуктов, так и в резервуарах их в течение длительного процесса извержения. (Бунзен говорил о возникновении всех горных пород путем сжатия двух пространственно отдельных магм (основной и кислой). Сартorius Вальтерсгаузен напротив считал, что одна первичная магма распадается на составные по удельному весу. Последнее мнение и нужно считать началом гипотез о дифференциации магмы.) Розенбунд под распадением (*Spaltung*) первичной химически однородной магмы понимал ее распадение на химически различные, которая выражается в глубинных породах, дающих в свою очередь продукты отщепления в виде вулканических. Основанием гипотезы служило представление, что в первичной магме находится несколько (6 или 8) химически различных типов магм, ядрых (*Kern*) друг в друге не распадающихся. Дюроу в 1857 г. предложил толковать разделение магмы не по удельному весу, а как явление сейгерования, т.е. отщеп-

творимых. (*Kenworthy*). Въ действительности типы Розенбуша мало соотвѣтствуютъ фактически существующимъ породамъ, и его гипотеза представляетъ скорѣе попытку только химической классификаціи породъ, а не объясненія причинъ распреденія одной магмы на частичныя. (Среди типовъ Розенбуша гранитовая магма представляется кромѣ гранитовъ, древними кварцевыми порфирами и кератофирами, также болѣе новыми вулканическими фельзитовыми, пантеллеритами (породы близкія къ липариту, трахиту и дацит), и трахитами; габбровая магма заключаетъ рядомъ съ глубокими и древними вулканическими породами такія болѣе новыя массы, какъ базальты и лейцититы (т.е. породы изъ лейцита и авгита). М. Леви предполагаетъ 4 магмы, каждая съ нѣсколькими подраздѣленіями. 1) щелочная: (гранулитовая, гранито-эеолитовая, пантеллеритовая); 2) щелочно-земельная (гранито-тоналитовая, гранититовая, собственно гранитовая); 3) земельно-щелочная (диоритово-діабазовая, діабазо-лампрофиритовая); 4) желѣзисто-магнезіальная (лампрофиритовая, перидотитовая). Но онъ предполагаетъ, что только двѣ магмы способны къ чистому раздѣленію и обладаютъ дѣйствительной индивидуальностью: желѣзисто-магнезіальная и щелочная, которыя являются фундаментальными и проявляются различно, какъ изверженные массы; первая является результатомъ общего огненного плавленія, а вторая получается при совместной дѣятельности минерализующихъ или пневматолитическихъ агентовъ, какіе мы видѣли въ fumarолахъ и которымъ онъ придаетъ большое значеніе. Онъ полагаетъ, что въ циркуляціи жидкостей, насыщенныхъ минеральными растворами подъ высокимъ давленіемъ и при высокой температурѣ слѣдуетъ искать

дѣятельные факторы въ дифференціаціи, которая происхо-
дитъ въ резервуарахъ изверженной магмы.

Другіе петрографы и геологи старались объяснить образо-
ваніе различныхъ породъ изъ первичной магмы не стремле-
ніемъ къ распаденію на различные химическіе типы, а фи-
зическими процессами, происходящими въ магмѣ, какъ рас-
творѣ. Напр. *Thall* указываетъ на значеніе изслѣдованій *Гитри* надъ криогидратами (т.е. эвтектическими смѣсями),
и *Лагорио* надъ стекловатыми основными массами извержен-
ныхъ породъ. Онъ первый примѣняетъ къ магмѣ принципъ *Сорэ*,
который онъ опредѣляетъ слѣдующимъ образомъ: "одно-
родный растворъ остается такимъ до тѣхъ поръ, пока тем-
пература остается однообразной, но нарушеніе въ равнове-
сіи температуры вызываетъ неоднородность въ растворѣ.
Сооставная часть или многія изъ нихъ, которыми растворъ
насыщается скорѣе всего, (слѣдовательно наименѣе раство-
рима части), стремятся собраться въ болѣе холодныхъ
пространствахъ". (Различныя возраженія были приводили
противъ этого принципа, какъ достаточнаго объясненія ди-
фференціаціи магмы, и теперь *Брөггеръ* признаетъ, что
простая диффузія по принципу ли *Сорэ*, или какими нибудь
другими путемъ, недостаточна, чтобы объяснить факты.

Вильсонъ замѣчаетъ, что принципъ *Сорэ* применимъ толь-
ко къ очень слабымъ растворамъ, и что мы совершенно ни-
чего не знаемъ о возможности приложенія его къ насыщен-
нымъ и притомъ къ сложнымъ (*Левинсонъ* + *Лессингъ*).
въ отношеніи къ такому типу дифференціаціи, гдѣ магма

предполагаемая вначалѣ однородной, сосредоточиваетъ свои болѣе основные элементы въ болѣе холодныхъ периферическихъ частяхъ, - равниваетъ такую магму съ насыщеннымъ солянымъ растворомъ *) и предполагаетъ, что миграція и изменение растворимыхъ составныхъ частей къ пространствамъ влажности наиболѣе легко насыщаемымъ (т.е. холоднымъ) определяла бы кристаллизацию, процессъ которой, въ предполагаемомъ случаѣ, долженъ былъ бы дать очень быстрое развитие теплу. Гаркеръ предполагаетъ, следовательно, что не диффузія вызываетъ неоднородность магмы, а кристаллизация по принципу наибольшей работы Бертелло; по этому принципу, кристаллизация всегда должна быть слѣдствіемъ такого сочетанія химическихъ и физическихъ процессовъ, чтобы при данныхъ условіяхъ, безъ вмѣшательства внѣшнихъ причинъ совершалось бы наиболѣе отдѣленіе тепла.

Велкеръ критикуя гипотезу дифференціаліа путемъ диффузіи, отбѣиваетъ огромное время, которое необходимо для сегрегации магмы по методамъ Льюиса и Соре; даже если бы она оставалась свободной отъ конвекціонныхъ (т.е. уравнивательныхъ) токовъ. Онъ предполагаетъ, что магма внутри земной коры должна быть вязкой по крайней мѣрѣ какъ лава, и что въ такой массѣ конвекціонные токи должны отвращать всякое отдѣленіе составныхъ частей отъ диффузіи и, следовательно, всякое замѣтное измѣненіе состава. Вроггеръ считаетъ, что нельзя разсматривать внут

*) Растворимость карбонатовъ соли измѣняется съ температурой очень мало.

ренную магму вязкой, подобно лавѣ Везувія. Онъ указывает на отсутствіе вообще дифференціаціи въ поверхностныхъ изліяніяхъ изверженныхъ породъ и на ея частое появленіе въ глубинныхъ массахъ; следовательно, до тѣхъ поръ, пока магма сохраняетъ громадные объемы водяныхъ и другихъ паровъ, которыми она насыщена, она должна обладать значительной внутренней подвижностью. *Baskin* предложилъ другое разрѣшеніе проблемы, насколько, по крайней мѣрѣ, дѣло касается массы, изверженныхъ въ земную кору или на ея поверхность. Возвращаясь къ процессу дробной кристаллизаціи, изслѣдованной опытомъ Гитри на эвтектическихъ смѣсяхъ, (см. объ этомъ дальше), онъ замѣчаетъ, что масса изверженного матеріала, проникшаго въ трещину или пустоту среди холодныхъ породъ, подвергается конвекціоннымъ токамъ и въ ней устанавливается циркуляція. Если лава предполагается однородной смѣсью двухъ жидкостей различныхъ плавокостей, кора, образующаяся первой около залывающей, будетъ имѣть почти такой именно составъ, какъ менѣе плавкая часть магмы. Отдѣленіемъ менѣе плавкой части будетъ измѣняться составъ циркулирующей жидкости, которая все болѣе приближается къ составу болѣе легкоплавкой составляющей части смѣси. Когда такое состояніе ея будетъ достигнуто, магма болѣе не въ состояніи измѣняться вслѣдствіе циркуляціи и частичнаго ствердѣванія, и остаточная масса постепенно затвердѣетъ, какъ однородный матеріалъ. Это несомнѣнно важное соображеніе, хотя оно можетъ быть и не имѣть очень широкаго applicaціи. *Baskin* указавъ

что это соображение требует, чтобы более трудноплавкий материал концентрировался по окраинам, тогда как в большинстве случаев факты показывают обратное, именно обособление на окраинах более основных частей. Но крайней мере так происходит в значительных массах, хотя в дейках, где расплавленный материал быстро охлаждается при соприкосновении с холодными стѣнами трещин, залебанди или краевая часть более трудноплавки и более кислотна, чѣм центральная часть. Разногласие существует, следовательно, насчетъ причины или сил, которая вызываетъ движение молекулъ въ магмѣ, но большинство петрографовъ принимаютъ, что дифференціация, или распадение первичной единой магмы происходитъ путемъ диффузии; отсюда и название этой гипотезы диффузионной, или концентраціонной, какъ противоположеніе гипотезѣ ядеръ Розенбуша. Но, признавая значение этого физическаго процесса, нельзя въ то же время отрицать и значение на образование различныхъ горныхъ породъ процесса оседания и первичальной магмой частей другихъ, иногда даже уже готовыхъ горныхъ породъ. Не сомнѣнь быть можетъ справедливо такому влиянію въ которое ученые придаютъ исключительное значение, напр. Дювостонъ-Левисъ, который предложилъ такую теорію оседания и обмѣна между магмой и боковыми породами, какъ главный факторъ разнообразія изверженныхъ породъ.

Проблема дифференціация магмы, какъ видимъ, чрезвычай

но сложна и далека отъ своего разрѣшенія. Во всякомъ случаѣ, несомнѣнно, что по крайней мѣрѣ по отношенію къ лавитамъ (*lavas*), интрузіямъ среди горизонтальныхъ массъ (*dills*) и дайкамъ, измѣненія горныхъ породъ въ значительной степени зависятъ отъ охлажденія, хотя велика понятъ, какимъ образомъ это вліяніе охлажденія значительно дѣйствуетъ на составъ большихъ магматическихъ резервуаровъ, которые дѣйствительно подвергаются значительнымъ измѣненіямъ въ теченіе вулканическаго цикла. Готовыя соединенія, которыя мы видимъ въ горныхъ породахъ, отличаются отъ общей массы скорѣе всего не въ самой массѣ раствора, а только при началѣ его охлажденія.

Можетъ быть, какъ говорятъ В р ѳ г е р ь, *) что процессъ связанъ самымъ тѣснымъ образомъ съ кристаллизаціей расплавленнаго матеріала и что можетъ быть весь актъ вулканизма выражается въ послѣдовательности процессовъ: к р и с т а л л и з а ц і и , д и ф ф е р е н ц і а ц і и и и з в е р ж е н і я .

О различныхъ измѣненіяхъ внутри земной коры мы должны судить только по ихъ результатамъ, но мы можемъ въ маломъ масштабѣ воспроизводить эти процессы, въ механическихъ и химическихъ лабораторіяхъ.

При всѣхъ попыткахъ экспериментальной геологіи, основаніе которой было положено Д ж е м с о м ь Г о л л - е м ь , *) объяснить глубинные процессы, необходимо ставить условія опытовъ, разнообразно измѣняющія, возмож-

*) См. примеч. со стр. 164.

во ближе къ дѣйствительнымъ условіямъ природы.

Познакомимся съ явленіями кристаллизаціи по нѣкоторымъ результатамъ такихъ экспериментальныхъ изслѣдованій.

С у х о е п л а в л е н і е . Первые опыты въ этомъ направленіи были сдѣланы О о с о ю р о м ъ , Д о л о -
м ъ е , и Д ж е м с о м ъ Г о л к е м ъ .
Отъ тѣхъ поръ многочисленныя опыты показали, что при доста-
точно высокѣй температурѣ всѣ горные породы подвергают-
ся молекулярному измѣненію и переходятъ въ аморфное состо-
яніе; что при быстромъ охлажденіи массы застываютъ въ сте-
кло, а при медленномъ принимаютъ болѣе или менѣе кристал-
лическое состояніе, масса растеколывается и получается амор-
фный продуктъ. Известное намъ стекло съ его изотропны-
ми свойствами имѣетъ удѣльный вѣсъ скорѣе ниже, чѣмъ то
же вещество въ кристаллическомъ состояніи (сравн. возраже-
ніе Штюбеля). При медленномъ охлажденіи стекло принимаетъ
фарфоровидную баружность; это есть уже растеколосавіе (де-
витрификація), выражающееся въ появленіи небольшихъ кри-
сталлитовъ несовершенной или зачаточной формы съ увеличені-
емъ при этомъ плотности и объема. Это какъ бы переходная

), Das Ganggefölge des Laurdalites

1898, стр. 333.

Превосходный очеркъ ученій о дифференціаціи магм.

степень между чистым стеклом и кристаллическим состоянием. Горные породы, приведенныя въ состояние плавленія и застывшія въ стекло, имѣютъ обыкновенно цвѣтъ бутылочно-зеленый или серый въ зависимости отъ содержанія желѣза. Въ такомъ видѣ онѣ очень похожи на естественныя стекла — смоляные камни и обсидіаны. Такіе искусственныя стекла заключаютъ также среди совершенно однородной изотропной массы различныя волосовидныя, игольчатые и т. под. кристаллиты, иногда окрашенныя, чаще всего окислами желѣза.

Целесъ и въ послѣднее время Морозевичъ убѣдился, что расплавленныя горныя породы необыкновенно сильно реагируютъ въ глиняныя тигли, совершенныхъ разбѣда; по опытамъ Дбильтера и Гуссака, фарфоровыя тигли не испытываютъ такого разрушенія. Это — интересные факты, позволяющіе объяснить такіе случаи, когда изверженныя породы занимаютъ прострѣтства, несомнѣнно прежде бывшія занятыя осадочными породами, причемъ составъ такихъ разнообразныхъ массъ чрезвычайно измѣнчивъ въ разнѣжныхъ ихъ частяхъ.

Многочисленныя опыты *Фред. М. Levy* показали, что сны химическихъ элементовъ или въ другихъ случаяхъ — минералогическихъ составныхъ частей, въ пропорціяхъ, соответствующихъ различнымъ минераламъ и горнымъ породамъ, при сплавленіи ихъ въ платиновыхъ тигляхъ даютъ какъ бы образующіе минералы: полевое шпатъ, авгитъ, лейцитъ, нефелинъ и графитъ, такъ и горныя породы состава и строенія авгитовыхъ андезитовъ, лейцитовыхъ тефритовъ и настоящихъ базальтовъ. При быстромъ охлажденіи сплавлен-

ния смѣси застывать въ стекла. (Если смѣси заключать элементы пироксена, энстатита, меллита, необходимо болѣе быстрое охлажденіе, чтобы произошло выкристаллизованіе этихъ минераловъ изъ массъ стекла. Нефелинъ кристаллизуется также легко. Наоборотъ, полевые шпаты переходятъ очень медленно изъ вязкаго состоянія въ кристаллическое. При этихъ опытахъ былъ установленъ законъ, что температура плавленія кристаллическаго силиката обычно выше, чѣмъ темпер. плавленія того же вещества въ стекловатомъ состояніи (см. опыты Вривъ). Отсюда слѣдуетъ, что если ставимъ подвергать стекло достаточно долго жару при температурѣ нѣсколько выше, чѣмъ температура его размягченія, то получаются наиболѣе благопріятныя условія для молекулярныхъ перегруппировокъ и образованія кристаллическихъ веществъ, которыя отвердѣваютъ среди вязкой массы. Предѣлы температуры для образованія каждаго минерала заключаются въ узкихъ границахъ между точками плавленія минерала и его стекла. При измѣненіяхъ температуры опытовъ различные минералы могутъ быть получаемы изъ одной и той же массы. Минералы, какъ оливинъ, лейцитъ и полевой шпатъ, которые затвердѣваютъ при высшей температурѣ, чѣмъ другіе, появляются первыми. Въ искусственномъ базальтѣ совершенно подобно естественному, оливинъ всегда выкристаллизовывался первымъ. Пользуясь свойствами кристаллизаціи минераловъ въ порядкѣ обратномъ ихъ плавкости, можно искусственно простыми плавленіемъ получить различныя кристаллическія породы.

Нѣкоторые хорошо извѣстныя факты, которые, казалось, говорятъ противъ принципа этихъ опытовъ, были также объяс-

ненн Фукс и М. Леви. Некоторые минералы, весьма трудноплавкие, заключаютъ въ своей массѣ кристаллы другихъ гораздо болѣе легкоплавкихъ, какъ будто бы послѣдніе выкристаллизовались сначала, напр. въ случаѣ кристалликовъ пироксена, заключенныхъ въ лейцитѣ. Въ дѣйствительности же пироксенъ медленно выкристаллизовался въ включеніяхъ стекла, которыя были захвачены въ массу лейцита. Гдѣ одинъ и тѣ же оникаты находятся въ формѣ крупныхъ вкрапленниковъ и также болѣе мелкихъ, тамъ обнаруживаются фазы въ послѣдовательномъ охлажденіи и отвердѣваніи массы; напр. въ лавѣ спокойной стоящей въ выводномъ каналѣ вулкана образуются какіе нибудь кристаллы, а затѣмъ тѣ же самыя при быстромъ охлажденіи послѣ изверженія изъ выводного канала.

Рядъ ониктовъ Дюлтера и Гуссакъ показалъ вліяніе погруженія различныхъ минераловъ въ расплавленную массу, напр. андезита и фонолита. Напр. получается зернистая структура въ поверхностномъ слое кристалловъ пироксена и роговой обманки, какъ это замѣчается на роговыхъ обманкахъ современныхъ лавъ; превращеніе кристалла роговой обманки, сохраняющаго свою форму, въ агрегатъ призматическаго авгита и магнетита, какъ это такъ же наблюдается въ базальтахъ; превращеніе гравата въ различные другіе минералы, какъ мейнитъ, меллитъ, авортитъ, известковистый оливинъ, известковистый нефелинъ, желѣзистый блескъ, шпинель; граватъ же самъ никогда не появляется въ расплавленной магмѣ.

Замѣчательны опыты Морозевича. Онъ получилъ тридцать четыре различныхъ минераловъ въ различныхъ средахъ — липаритахъ, базальтахъ, андезитахъ и др. Въ особенности интерес-

ни воспроизведения различных структур изверженных пород и определение условий образования этих структур. Так сферолитовая структура получается при пересмешении магмы одной какой либо составной частью и при быстром охлаждении. Для порфиритовой структуры также необходимо пересмешение, но медленное охлаждение. Интерсертальная - стекловатая структура зависит главным образом при быстрой кристаллизации от ускоренного понижения температуры. Если расплавленную массу долго держать при высокой температуре (500° - 600° C), получается зернистая структура в стекловатой основной массе, но с круглыми секрециями, а та же самая магма при более высокой температуре дает микропорфиритовую структуру. Сплавы богаты щелочами склонны давать стекловатую или интерсертально-стекловатую структуру; сплавы, богатые щелочными землями, с другой стороны в особенности склонны к кристаллизации. При этих опытах структуры получались как следствие внешних физических условий и химического состава веществ в качественном и количественном отношении.

Морозевич пришел к заключению, что порядок выделение минералов зависит главным образом от отношений между количествами составных частей в массе. Те же самые составные части, при тождественных условиях, выделяются раньше или позже в зависимости от их количества. Другим важным условием является растворимость вещества в магме; чем меньше растворимость, тем скорее выделяется это вещество из магмы. Температура играет так

же большую роль въ выдѣленіи однихъ и тѣхъ же веществъ. Магнетитъ, напр. съ трудомъ насыщаетъ марму при температурахъ выше 1000°C ; анортитъ кристаллизуется легче при температурахъ около 1000°C , и выше, чѣмъ при температурѣ около 700° (слѣдовательно, растворимость его какъ бы увеличивается съ пониженіемъ температуры.).

Различныя наблюденія относительно вліянія удѣльнаго вѣса на раздѣленіе составныхъ частей марма имѣютъ большое значеніе для познанія исторіи образованія изверженныхъ породъ. Масса вѣсомъ въ 100 фунтовъ и состоящая изъ щелочнаго авгита, представляетъ рѣзкое различіе по плотности въ верхней и нижней частяхъ. Верхняя съ уд. вѣсомъ 2,634 не заключаетъ магнетита; нижняя съ уд. вѣсомъ въ 2,886 представляетъ значительныя скопленія этого минерала. Этотъ фактъ хорошо извѣстенъ въ фабрикаціи стекла; при дѣйствіи тиглей получаетъ ся избытокъ извести, который вызываетъ растеклованіе съ образованіемъ воластонита и діопсида.

Эли де Бомонъ ввелъ понятіе о *м т р а з о р а з а т о р а х ъ*, т.е. газахъ, какъ фторъ, боръ, фосфоръ, принимающихъ важное участіе въ образованіи различныхъ минераловъ. Многіе опыты подтверждаютъ значеніе этихъ веществъ. Такъ, *Schmeltz* сплавлялъ кресты и основныя породы съ опредѣленными количествами хлоридовъ магнія, натрія, кальція и алюминія, также фтористыхъ натрія, кальція, калия и другихъ.

Онъ нашелъ, что эти вещества при температурѣ ниже точки плавленія породъ способствуютъ образованію или минераловъ, составляющихъ породы, или другихъ минераловъ. Очень основныя породы могутъ быть болѣе или менѣе легко расплавлены и безъ участія этихъ веществъ, а кресты поро-

ды для ихъ плавленія требуютъ непременно присутствія этихъ веществъ. Не удастся, напр., получить путемъ плавленія совершенное подобіе кислыхъ породъ по структурѣ и минераламъ, а изъ стекла, получаемого плавленіемъ основныхъ породъ, можно воспроизвести продуктъ, не отличающійся отъ естественныхъ основныхъ породъ. При сплавленіи кислыхъ породъ получается продуктъ, подобный темному обсидіану. Ревейс-гранитъ изъ *Sch* ^Wа тѣмъ не менѣе, сплавленный съ хлористымъ натріемъ, волефрамовойкислымъ калиемъ далъ болѣе кристаллическій продуктъ съ небольшимъ количествомъ стекла; но вмѣсто первоначальныхъ минераловъ — кварца, альбита, ортоклаза, слюды, апатита, ро гов. обманки, циркона, турмалина и мегнетита, вновь полученія были полевой шпатъ, средній между альбитомъ и кислымъ олигоклазомъ, ортоклазъ, авгитъ, діопсидовидный и гекса^{го}эдри- нны пластинки тридимита; порода походила на авгитовый трехитъ. То же самое подтверждаютъ опыты Морозевича.

Въ общемъ опыты показываютъ, что въкоторыя изверженныя пор^оды основного характера, какъ базальты и авгитовые андезиты, могутъ быть получаемы простымъ сухимъ плавленіемъ; воспроизведеніе кислыхъ породъ представляетъ затрудненія, непреодолимыя въ лабораторіяхъ. Не удастся простымъ плавленіемъ воспроизведеніе породъ съ кварцемъ, ортоклазомъ, бѣлой слюдой и роговой обманкой. Эти породы вѣроятно происходятъ другимъ путемъ, чѣмъ сухое плавленіе. Кислыя породы, напр. граниты, представляютъ замѣчательную группу, происхожденіе которой остается для насъ еще темнымъ.

В л і я в і е н а г р ѣ т о й в о д ы . Если теплота земного шара принимает широкое участие въ созданіи матеріала земной коры, то вода при этомъ исполняетъ не малую часть работы. Она часто сопровождаетъ работу тепла, такъ что въ окончательномъ результатѣ участие каждаго агента не можетъ быть даже ясно ограничено.

Мы уже знаемъ о присутствіи воды во всѣхъ горныхъ породахъ, знакомы теперь съ ея растворяющей силой при обыкновенныхъ температурѣ и давленіи. Р а с т в о р я ю щ а я с и л а в о д ы усиливается съ повышеніемъ температурн, но нѣтъ необходимости предполагать очень высокую температуру для многихъ важныхъ преобразованій въ земной корѣ (*Dunbar* — показалъ, что напр. для образованія цеолитовъ дѣйствіемъ воды Пломбьерскаго источника достаточна температура воды около 50°C . Онъ показалъ также значительное повышение химической энергіи воды, подвергая ея дѣйствию стекло запаянной трубки при нагреваніи ея до 400° . Черезъ одну недѣлю стекло уже потеряло совершенно свой видъ, превратившись въ бѣлую, непрозрачную порошковатую массу. Вода насытилась щелочнымъ силикатомъ изъ 63% натрія и 37% SiO_2 , со слѣдами калия и извести. Бѣлая твердая масса оказалась сложеной почти цѣликомъ изъ кристаллическаго матеріала, частью въ формѣ маленькихъ двойныхъ пирамидъ кварца, но главнымъ образомъ изъ очень маленькихъ призмъ воластонита. Часть трубочки, непосредственно соприкасавшаяся съ запаянной въ ней водой, подверглась измѣненіямъ гораздо слабѣе, чѣмъ та часть, гдѣ проходило скопленіе пара подъ высокимъ давленіемъ при высокой температурѣ.

Опиту Добре были во многом дополнены и результаты их подтверждены, опитами *Friedel* а и *Schazim* а въ новейшее время *Obtch'a*.

Давление составляет наиболее важный факторъ въ увеличеніи способности воды къ растворенію и удержанію въ въ растворе значительнаго количества минеральныхъ веществъ, гораздо болшихъ чѣмъ въ нормальныхъ условіяхъ.) Въ опитахъ *Danville* давленіе именно и принимало участіе: пользуясь ключевой водой, ему удалось получить и полевой шпатъ, и діопсидъ.

Сжимаемость воды при температурѣ выше 100° и ея растворяющее дѣйствіе на стекло были предметомъ болѣе новыхъ изслѣдованій *Beaud'a*, который доказалъ, что это дѣйствіе сопровождается сокращеніемъ первоначальнаго объема силиката и воды и вѣроятво сопровождается повышеніемъ тепла.

"Изъ этого слѣдуетъ, какъ говорить, что если вода при температурѣ выше 200° и подъ давленіемъ, достаточнымъ для удержанія ея въ жидкомъ состояніи, находится въ такихъ условіяхъ, что развиваемая при этомъ теплота не можетъ отдѣляться, то такая система представляетъ застоялій горъ, печь. Какъ какіе такіе условія осуществляются въ верхнихъ горностахъ земной коры, то отсюда слѣдуетъ, что необходимый геотермическій градіентъ долженъ быть больше, чѣмъ действительный градіентъ, который зависѣлъ бы только отъ нормальныхъ условій распредѣленія земного тепла. Другими словами, наблюдаемая степень возростанія тепла съ глубиной силикомъ велика, такъ какъ она заключаетъ и эффектъ химическихъ явленій, присоединяющихся къ чистому явленію земной теплопроводности".

Въ порахъ горныхъ породъ, напр. гранитовъ, находятся вклуче-
нія жидкой угольной кислоты; это показываетъ, что отвердѣва-
ніе такихъ породъ происходило подъ очень высокимъ давленіемъ.
Горныя породы находятся подъ давленіемъ, зависящимъ отъ глу-
бины ихъ залеганія; онѣ должны подвергаться также громад-
нымъ напряженіямъ со стороны перегрѣтой воды и паровъ, запол-
няющихъ ихъ поры, а также сжатію, подъ вліяніемъ непрерывна-
го охлажденія земного шара и вызываемаго имъ сокращенія зем-
ной коры. ~~Сорби~~ *в* вычисляли, что давленіе, подъ которымъ дол-
женъ былъ отвердѣвать гранитъ, измѣняется массой породъ око-
ло 9 миль толжиной. ~~Bernard~~ *и Pouillet* вычисляли это давленіе въ
87 атмосферъ. Эти ученые измѣряли объемъ пузырька, заклю-
ченной въ немъ воды и объемъ кубика соли, какія наблюдаются
въ кварцевомъ діоритѣ *Quartz* въ Бельгіи. Температура, при ко-
торой данное количество воды вклученія должно было растворитъ
данное количество соли, опредѣлялась вычисленіемъ въ 307° C.
Хотя законы растворимости соли извѣстны только при низкихъ
температурахъ, но эта цифра по многимъ соображеніямъ не мо-
жетъ быть далека отъ истинной. Принимая, что при этой темпе-
ратурѣ образовалось вклученіе, авторы опредѣляютъ давленіе,
необходимое для полного испаренія воды при такой температурѣ
и получаютъ давленіе въ 87 атмосферъ. Что давленіе должно бы-
ло быть болѣе значительнымъ для другихъ породъ, показываетъ
присутствіе въ порахъ ихъ кристалловъ жидкой угольной кисло-
ты.

Водно-огневное (гидрато-пирогеновое) плавление. Въ 1846 г. Шеереръ обратилъ вниманіе, что въ гранитахъ находятся минералы, образованіе которыхъ возможно только при сравнительно низкой температурѣ. Онъ отличаетъ въ особенности гадолинитъ, ортитъ, алаунитъ, которые не могутъ выдерживать температуръ выше краснаго каленія, не измѣняя своихъ физическихъ свойствъ; отсюда онъ заключилъ, что гранитъ не могъ произойти простымъ огненнымъ плавленіемъ, но долженъ былъ отвердѣвать изъ вязкой массы съ большимъ содержаніемъ воды. Теперь говорятъ, что происхожденіе гранита представляетъ водно-огневной или гидротермальный процессъ.

Шеереръ, Э. де Бомонъ и Добре показали, что присутствіе сравнительно небольшого количества воды въ изверженных породахъ можетъ способствовать задержанію отвердѣванія породъ и возбуждать кристаллизаціи силикатовъ при температурахъ значительно ниже точки плавленія и въ порядкѣ, отличномъ отъ ихъ степени плавкости. Такимъ образомъ отвердѣваніе кварца въ гранитѣ послѣ кристаллизаціи силикатовъ, что было бы совершенно необъяснимо предположеніемъ только сухого плавленія, становится понятнымъ.

Исслѣдованія Гитри о вліяніи воды на пониженіе точки плавленія различныхъ веществъ имѣютъ большое значеніе для геологін. Онъ показалъ, что точка плавленія селитры (320°C) понижается прибавленіемъ 2,14% воды на 20° , а при увеличеніи пропорціи воды до 29,07% - понижается до $97,6^{\circ}$; отсюда онъ

закончилъ. что и явление плавленія есть не болѣе, какъ крайній случай разжиженія путемъ растворенія". Онъ не считалъ вѣрнымъ, что вода отсутствуетъ въ центрѣ земли; она тамъ находится лишь при критической температурѣ. и подъ высокимъ давленіемъ она будетъ сжимаема, какъ газъ плотности болѣе или менѣе такой, какъ жидкая вода. Онъ заключаетъ, что вода при высокой температурѣ не только является растворителемъ въ общемъ смыслѣ, но въ вѣкоторыхъ случаяхъ не имѣетъ предѣловъ для своей растворяющей способности, другими словами, что она можетъ смѣшиваться съ различными породами во всѣхъ пропорціяхъ; что растворъ и смѣсь непрерывно переходятъ одинъ въ другой въ случаяхъ, когда температура не выше точки плавленія тѣхъ же веществъ въ отдѣльности. (*fact de*)"

Ритри сомнѣвается, чтобы притокъ воды съ поверхности на глубину въ слѣдствіе капиллярности былъ необходимъ для воспроизведенія явления плавленія при вулканическихъ изверженіяхъ. Онъ и Добре, напротивъ, показываютъ возможность такого притока. Изъ опитовъ Ритри мы узнаемъ, что когда вода достигаетъ массы очень нагрѣтыхъ, но твердыхъ, все таки, породъ, она способствуетъ переходу ихъ въ расплавленное состояніе и обнаруженію ихъ расширительной силы на перекрывающую кору. (сравн. изложенное раньше мнѣніе Арреніуса).

Ознакомившись съ изслѣдованіями Э. де Вомона, Добре, и М. Девы, перейдемъ теперь къ далѣйшему изложенію вопроса о кристаллизаціи въ отношеніи къ порядку выдѣленія составныхъ частей изверженныхъ породъ и возможной связи этого порядка

-----3-----

Листъ 12-й . Лекція по геологіи. Проф. *К. Тиммевич*

съ процессами дифференціаціи и изверженія.

К р и с т а л л и з а ц і я и з в е р ж е н н ы х
п о р о д ь . Опыты Фуке и М. Леви показали, что нѣкоторые
минералы и породы могутъ быть получены искусственно сухимъ
плавленіемъ, и что кристаллическая группировка и структура
получаются совершенно подобными естественнымъ. Исслѣдованія
Добре показали, что при высокихъ давленіяхъ и температурѣ
вода получаетъ способность растворенія различныхъ минераль-
ныхъ веществъ и образованія новыхъ минераловъ и структуръ.
Хотя въ ему, ни его французскими коллегами не удалось воспро-
изведевіе гранитовыхъ породъ ни однимъ изъ методовъ, кото-
рыми они пользовались. Подобные же опыты въ широкомъ масшта-
бѣ поставленные Морозевичемъ, продолжали эти синтетическія
исслѣдованія. Мы уже видѣли, что онъ получалъ, пользуясь
сѣбяни соотвѣтствующихъ химическихъ ингредиентов, цѣлый
рядъ минераловъ и горныхъ породъ, включая діоритъ, различ-
ные базальты и андезиты. Но его исслѣдованія особенно важны
для вопроса объ отвердѣваніи и кристаллизаціи изверженныхъ
породъ вообще.

Его опыты показали съ новостью уже извѣстный намъ фактъ,
что присутствіе глинозема ведетъ къ задерживанію кристали-
заціи щелочной силикатовой магмы. Онъ нашелъ, что если гли-
нозема прибавлено болѣе, чѣмъ нужно для насыщенія имъ магмы,
то его присутствіе способствуетъ отлаганію глиноземныхъ си-
ликатовъ; Онъ экспериментировалъ съ сѣянми, имѣющими хими-

ческий составъ риолита и базальта, и получили продукты, въ которыхъ структура и порядокъ выдѣленія минераловъ были подобными какъ и въ естественныхъ породахъ. Онъ нашелъ, что минералы всегда кристаллизуются въ томъ же порядкѣ, который есть постоянная функція химическаго состава магмы, но его опыты привели его къ заключенію, что этотъ порядокъ не управляется ни однимъ изъ такихъ условій, какъ плавкость, кислотность или основность, но есть результатъ нѣсколькихъ содѣйствующихъ причинъ, среди которыхъ наиболѣе важными являются отношеніе между количествами различныхъ составныхъ частей въ распорѣ. Гдѣ это отношеніе для одной изъ составныхъ частей слишкомъ велико, минералъ будетъ кристаллизоваться скорѣе, чѣмъ тамъ, гдѣ это отношеніе мало, и, какъ было уже указано, температура также играетъ при этомъ роль, заставляя нѣкоторые минералы появляться болѣе легко при высшей температурѣ, чѣмъ та, при которой онъ, казалось бы, только и можетъ быть образованъ. /

При нѣкоторыхъ условіяхъ, въ особенности въ жилахъ, два старѣющихъ породе минерала могутъ кристаллизоваться одновременно и могутъ взаимно проростать. Эта структура очень обычна для протерваго гранита и въ грубо зернистыхъ жилахъ такъ называемыхъ пегматитовыхъ, гдѣ это проростаніе часто появляется. Болѣе обычно различные минералы выдѣляются последовательно, но порядокъ ихъ выдѣленія не остается неиз-

мѣнялись, и мы еще далеки отъ пониманія условій, опредѣляющихъ нормальный порядокъ или исключяющихъ отклоненія отъ него. Само собой возникаетъ предположеніе, что минералы видѣются въ порядкѣ ихъ плавкости, т.е. наиболее трудноплавкіе видѣются первыми. Опыты не подтверждаютъ этого вполнѣ. Розенбушъ замѣтилъ, что ихъ появленіе происходитъ въ порядкѣ уменьшенія основности, — руды появляются первыми, затѣмъ желѣзисто-магnezіальныя минералы, полевошпатовые и кварцы. Но есть и важныя исключенія изъ этого правила. /Въ гранитахъ часто можно видѣть кварцы (трудноплавкое вещество) окружающимъ полевой шпатъ (болѣе легкоплавкій), слѣдовательно, кварцы образовались позднѣе полевого шпата (согласно правилу Розенбуша); (въ долеритахъ пироксенъ верѣяно офитообразованъ ^{включенъ} среди лейотъ полевого шпата, слѣдовательно послѣдній образовался раньше пироксена. (слѣдовательно, не согласно съ правиломъ Розенбуша).

Преобладало долго мнѣніе, что въ такихъ случаяхъ присутствіе воды или другихъ "минерализаторовъ" играло большую роль. Было доказано опытомъ, что въ присутствіи воды кремнеземъ можетъ оставаться жидкимъ при 800° , т.е. значительно ниже точки плавленія. *Joly* недавно обратилъ вниманіе на значеніе отлечія между точкой плавленія и вязкостью минерала при высокихъ температурахъ. Онъ нашелъ, что кремнеземъ есть вещество обладающее замѣчательной степенью вязкости. Его точка плавленія находится при 1406°C ; при 1500°C онъ дѣлается хотя жидкимъ, но густымъ, а при 800°C онъ становится уже пластическимъ и подчиняется очень быстро всякаго

рода нарушающим силамъ. Вопросъ о времени также имѣетъ значеніе при опредѣленіи плавкости веществъ. Чѣмъ быстрее вещество довести до плавленія, тѣмъ точка плавленія получится выше. Такъ лейцитъ плавится при 1030° ; авгитъ при 1140° если достаточно времени они поддерживаются въ вязкомъ состояніи. Но если быстро поднять температуру до 1300° , то лейцитъ также жидокъ, какъ и авгитъ при 1200° , ихъ жидкость — ность болѣе совершенная, чѣмъ при указанныхъ раньше температурахъ. При температурѣ 1280° лейцитъ находится въ очень вязкомъ состояніи около нормальной точки плавленія (которая около 1300°), авгитъ, съ другой стороны, остается совершенно жидкимъ даже при пониженіи температуры на 80° ниже точки плавленія. Следовательно, при охлажденіи магмы отъ такихъ температуръ, лейцитъ можетъ начать выкристаллизовываться, и его кристаллы развиваются прежде, чѣмъ авгитъ сразуетъ хоть одинъ кристаллъ или самое большое, что перейти въ микролитовое состояніе.

?) Если мы рассмотримъ магму, какъ растворъ, въ которомъ всѣ ея химическія составныя части совершенно растворены, главное условіе, опредѣляющее отдѣленіе этихъ частей, вѣроятно, есть пониженіе температуры. (По мѣрѣ охлажденія массъ ингредиенты, достигающіе раньше предѣла насущенія, будутъ кристаллизоваться раньше, и послѣдовательное появленіе минераловъ будетъ продолжаться, пока вся магма не раскристаллизуется или пока остатокъ не растекается въ массу не отвердѣетъ. Въ теченіе этого процесса происходитъ полная серия химическихъ измѣненій. Первое выдѣленіе болѣе

основных ингредиентов дѣлаетъ остатки въ цѣломъ болѣе кислыми. Затѣмъ начинаются реакціи, которыя постепенно ведутъ даже къ новому растворенію минераловъ уже выкристаллизовавшихся. Въ теченіе этихъ процессовъ какой-нибудь минералъ можетъ появиться болѣе, чѣмъ одинъ разъ во время кристаллизаціи всей магмы. Полевой шпатъ, напр. часто появляется какъ продуктъ перваго и втораго отвердѣванія. Порфирозные кристаллы, или вкрапленники (фенокристаллы, по терминологіи Иддингса), разсѣянные среди тонко-зернистой основной массы, полной маленькихъ и микролитовыхъ кристалловъ того же самого минерала, показываютъ съ очевидностью такую послѣдовательность.

Проводя аналогію съ растворами, нетрудно объяснить вліяніемъ охлажденія, что въ такихъ болѣе холодныхъ частяхъ резервуара магмы скопляются вещества, легче всего насыщающія магму, именно желѣзисто-магnezіальные силикаты и сѣрнистыя соединенія (руды). Такія краевныя фазы, богатныя темноокрашенными силикатами, называютъ лампрофитами или мелавократовыми (т.е. преимущественно черными) горными породами. Части магмы, въ которыхъ сконцентрировались кремнеземъ и богатныя щелочами составныя части, называютъ эплитами или, по ихъ свѣтлому цвѣту, мелавократовыми породами.

Начало кристаллизаціи не связано necessarily съ зонами сильнѣйшаго охлажденія; оно можетъ вступить и внутри массы, какъ только наступаетъ пересыщеніе магмы известными веществами. Наростающіе кристаллы вызываютъ диффузійные то-

ки, ворушавшіє составъ остальной массы; могутъ возникнуть отдѣльныя части, которыя послѣ полного отвердѣванія, отличаются структурой, химически и минералогически отъ главной массы породы. Такія части и называютъ **м а р м и**; obviously они связаны съ окружающей массой незамѣтными переходами.

Распаденіе магмы подѣ вліяніємъ кристаллизаціи въ жилахъ и лакколитахъ, объясняется довольно удовлетворительно; подобнымъ же образомъ можетъ происходить ея распаденіе и въ большихъ магматическихъ бассейнахъ, дающихъ въ теченіе долгаго времени изверженія на поверхность земли. Продукты такихъ послѣдовательныхъ изверженій могутъ представлять различныя горныя породы, но связанныя часто незамѣтными переходами (мутаціонныя измѣненія); въ различныхъ мѣстахъ такой области изверженныхъ породъ (провинціи), происходящихъ изъ одного магматическаго бассейна, могутъ быть также различныя горныя породы, соотвѣтствующія различнымъ продуктамъ расщепленія (фаціальныя измѣненія),

При первомъ распаденіи первичной магмы возникаютъ частичныя магмы, дающія различныя глубинныя породы, слѣдующія въ каждой данной области такимъ образомъ, что болѣе позднія вообще болѣе кислы, чѣмъ предшествующія. Послѣдующая дифференціація такихъ магмъ выражается въ продуктахъ затвердѣванія въ видѣ такъ называемыхъ жилыныхъ породъ (по Розенбушу) и излившихся на поверхность (эффузивныхъ).

Кристаллизація интрузивныхъ изверженныхъ массъ должна, безъ сомнѣнія, болѣе или менѣе измѣняться подѣ вліяніємъ условій

глубины, температур, движений и других причин, действующих на расплавленный материал, введявшийся в земную кору. (Вейншенкь особенно отдѣляетъ эти условія, какъ факторы, опредѣляющій структуру породъ въ центральномъ гранитномъ ядрѣ Альпъ. Онъ полагаетъ, что эти породы представляютъ часть нормальной гранитной магмы, которая кристаллизовалась при ненормальныхъ условіяхъ и что онѣ приняли ихъ минералогическій составъ и характерную сланцеватую структуру не подвліяніемъ какого нибудь послѣдующаго динамометаморфизма, но подвліяніемъ особенныхъ условій давленія, сопровождавшаго складчатость горъ. Эти условія онъ и называетъ п і е з о - к р и с т а л л и з а ц і е й, терминомъ, подъ которымъ онъ понимаетъ первичное образование массивныхъ горныхъ породъ, когда кромѣ высокаго давленія, подъ которымъ происходитъ кристаллизація нормальныхъ глубинныхъ массъ, мы должны также считаться съ боковымъ давленіемъ при горообразовательныхъ движеніяхъ во время отвердѣванія кристаллическихъ породъ (подробнѣе см. дальше).

Приложеніе ученія объ эвтектическихъ смѣсяхъ къ объясненію структуры изверженныхъ горныхъ породъ.

Эруптивная магма, изъ которой при ея отвердѣваніи образовались изверженные породы, содержитъ кромѣ минеральныхъ веществъ, обнаруживаемыхъ нами въ породахъ, еще значительное количество газовъ, въ особенности перегрѣтаго водяного па-

ра, какъ это подтверждается наблюденіями надъ продуктами изверженія вулкановъ. (Тѣ изверженныя породы, которыя отвердѣваютъ не какъ лавы на поверхности земли, следовательно, освобожденныя отъ значительнаго количества этихъ летучихъ веществъ, а затвердѣваютъ на глубинѣ подъ сильнымъ давленіемъ, следовательно съ значительной частью газовыхъ элементовъ, должны обнаруживать такой первичный составъ магмы и дѣйствительно онѣ показываютъ въ своемъ составѣ огромное количество включеній жидкостей. Большая часть такихъ микро-скопическихъ включеній состоитъ изъ воды; затѣмъ изъ ска-тихъ газовъ, иногда, напр., жидкой угольной кислоты. Это по-казываетъ, что магма должна была представлять силикатовый растворъ богатый газами, въ особенности водяными парами.) Вещества въ ней были не только расплавлены, но и раство-ренны одни въ другихъ; магму можно опредѣлить, какъ о н л а к а т о в ы й р а с п л а в л е н н ы й р а с т в о р (Schmelzlösung).

Различные химическіе элементы въ магмѣ можно предполагать уже соединенными въ молекулы простыхъ силикатовъ, изъ которыхъ соотвѣтственно ихъ родству образуются различные минералы. Если бы кристаллизація (при наступленіи охлажденія) магмы опредѣлялась точкой плавленія стабильныхъ составныхъ частей, то должны были бы первыми выкристаллизовываться наиболѣе трудноплавкіе минералы, а затѣмъ осталь-ные въ порядкѣ пониженія ихъ точки плавленія. Въ дѣйстви-тельности, какъ мы видали, порядокъ выдѣленія зависитъ отъ количественныхъ отношеній различныхъ веществъ и отъ насч-

ченія ими магми. Огненис-жидкій растворъ подобенъ совершен-
но водному раствору. (Посмотримъ, напримеръ, какъ происхо-
дитъ отвердѣваніе раствора поваренной соли. Точка замерза-
нія воды 0° ; въ смѣси воды съ 10% соли она понижается до -8°
C, при чемъ смѣсь переходитъ въ растворъ. Если охладить
его дальше, то выкристаллизовывается ледъ. Маточный рассол
при этомъ концентрируется и это вызываетъ дальнѣйшее пони-
женіе точки плавленія (или замерзанія). Какъ только содер-
жаніе соли достигнетъ 23½%, а температура -22° C, то вся
смѣсь затвердѣваетъ сразу въ одно цѣлое. Если мы будемъ дѣ-
лать опытъ сразу съ растворомъ 23,5%, то при пониженіи тем-
пературы ледъ вовсе не выдѣляется, а при достиженіи темпе-
ратуры -22° C, смѣсь затвердѣваетъ сразу. Возьмемъ теперь
растворъ 25% -ый; уже при -12° C начинается выпаденіе крис-
талловъ, но не льда, а соли, и чѣмъ ниже опускается темпе-
ратура, тѣмъ больше выдѣляется соли. Крѣпость раствора пони-
жается при этомъ и при -22° C достигаетъ опять крѣпости
23,5% и затвердѣваетъ при этомъ сразу. Изъ этого опыта мож-
но заключить, что каждый растворъ крѣпости ниже 23,5% при
охлажденіи выдѣляетъ ледъ, а каждый растворъ крѣпости выше
23,5% выдѣляетъ соль, но все это при температурахъ выше -22°
C. При крѣпости 23,5% не выдѣляется ни соль, ни ледъ, пока
температура не понизится до -22° C; при наступленіи этой
температуры смѣсь затвердѣваетъ сразу.

Такія смѣси, которыя понижаютъ точку плавленія ниже всего,
называютъ эвтектическими, а ихъ точку плавлe-
нія эвтектической точкой (также вріюти-

дратней). (Твердые вещества, которые выделяются каждый раз при такой постоянной температурѣ, первоначально были ошибочно приняты Гитри за опредѣленные химическія соединенія и названы к р і с т а л л а м и .

Подобно льду и поваренной соли относятся другъ къ другу и металлы въ сплавахъ, и силикаты, растворенные другъ въ другѣ въ магмѣ. Эвтектическая точка силикатовыхъ растворовъ находится (до температуръ 400°) ниже точки плавленія наиболѣе трудно-плавкихъ составныхъ частей и послѣдовательность выделения опредѣляется не температурами ихъ плавленія, а отступленіемъ смѣси отъ состоянія эвтектическаго: кристаллизуется прежде всего тотъ минералъ, который находится въ количествѣ болѣе, чѣмъ это необходимо для эвтектической смѣси, (срав. опыты Морозевича), а выдѣленіе другихъ начинается лишь съ достиженіемъ эвтектической точки. Напр. въ кремнеземистой магмѣ изъ 30% SiO_2 и 70% ортоклаза, эвтектическая смѣсь должна состоять изъ 26% кварца и 74% ортоклаза; слѣдовательно, первымъ будетъ выдѣляться кварцъ. Какъ только съ его выдѣленіемъ температура понизится до эвтектической точки, магма отвердѣваетъ сразу въ одно цѣлое.

Различная плавкость минераловъ не опредѣляетъ, слѣдовательно, отвердѣванія магмы; тѣмъ не менѣе она имѣетъ значеніе. По изслѣдованіямъ *Vogt* точки плавленія минераловъ давленіемъ магмы оказываютъ большое вліяніе на самое положеніе эвтектической точки въ магмѣ. Если разность температуръ плавленія двухъ минераловъ невелика, то эвтектическая точка находится почти въ серединѣ двухъ составляющихъ, т.е. оба вещества при-

принимать одинаковое участие въ эвтектической смѣси. Чѣмъ больше эта разность, тѣмъ ближе приближается эвтектическая точка къ температурѣ плавленія болѣе легкоплавкаго минерала, следовательно, этотъ минералъ принимаетъ и тѣмъ большее участие въ эвтектической смѣси.

Авгитъ плавится при 1200° , оливинъ при 1400° ; эвтектическая точка лежитъ ближе къ температурѣ плавленія авгита, а смѣсь эвтектическая состоитъ изъ 30% оливина и 70% авгита. Точка плавленія ортоклаза лежитъ при $1150-1200^{\circ}$, кварца при 1700° - 1800° и эвтектическая смѣсь требуетъ 26% кварца, 74% ортоклаза. Еще сильнѣе перемѣщается эвтектическая точка въ сплавѣхъ. Свинецъ плавится при 326° , серебро при 954° и эвтектическая смѣсь ихъ требуетъ по вѣсу только 4% Ag , а Pb - 96%.

Чѣмъ болѣе въ растворѣ находятся вещества, тѣмъ сложнѣе явленіе ихъ выпаденія или индивидуализація отдѣльныхъ минераловъ, но сущность процесса остается той же. Образованіе кристалловъ продолжается до тѣхъ поръ, пока цѣль кристаллизаціи, если можно такъ выразиться, именно эвтектическая точка не будетъ достигнута, и тогда эвтектическая смѣсь отвердѣваетъ сразу. Исключенія представляютъ только стекла, которыя вслѣдствіе слишкомъ быстраго охлажденія отвердѣваютъ ранѣе наступленія момента эвтектической смѣси.

Способъ, какимъ выкристаллизовываются составныя части магмы и какимъ онѣ раздѣляются между собой пространствомъ, занимаемое ихъ сочетаніемъ, опредѣляетъ извѣстное сложеніе или структуру горныхъ породъ - гранитную, порфировую и стекловатую.)

Гранитная возникаетъ только на глубинѣ, гдѣ магма охлаждаетъ

Э. См. прим. на стр. 189

ся медленно подъ высокимъ давлѣніемъ, не освобождаясь отъ насѣдающихъ ее газовъ.

Кристаллы, видѣвшіеся первыми, находятся въ условіяхъ благоприятныхъ для развитія ихъ кристаллографическихъ очертаній они кристаллизуются аутоморфно т.е. въ свойственныхъ имъ формахъ; (синовимъ идіоморфно по Розенбуну).

Остаточный, маточный растворъ при достиженіи эвтектической точки затвердѣваетъ сразу, при этомъ отдѣльные минералы препятствуютъ другъ другу въ свободномъ нарастаніи и чистыхъ кристаллографическихъ формъ не достигаютъ; эвтектическая смѣсь затвердѣваетъ, какъ говорятъ, коеноморфно, (или аллотріоморфно по Розенбуну), т.е. въ формахъ чуждыхъ минераламъ.

При этомъ не образуется кристалла, но только кристаллическія зерна, таблички, вытянутые столбики и т.п.

Наиболѣе типичнымъ явленіемъ эвтектики при затвердѣваніи горныхъ породъ можетъ служить негматитовая структура (т.1. стр. 136), развивающаяся какъ въ гранитныхъ породахъ, такъ и въ понокристаллически порфировыхъ. Наблюденія надъ отвердѣваніемъ сплавовъ показываютъ эвтектическое происхожденіе негматитовой структуры.

Примѣч. къ стр. 188.) Въ отличіе отъ структуры многіе авторы предлагаютъ еще терминъ текстура, какъ опредѣленіе тѣхъ особенностей въ сложѣніи породы, которыя возникли не вслѣдствіе способа образованія составныхъ частей, а обязаны вліянію другихъ причинъ на магму или даже на готовую уже горную породу; напр., пузырчатое сложѣніе, миндалекаменное, кливажъ и т.д. слѣдуетъ называть текстурой.

Подъ впливіємъ минерализаторовъ (гази и водяной парь), отдѣльные индивидуумы могутъ различно орошаться и образуются уродливыя крупныя формы, но при этомъ вовсе не замедляется процессъ отвердѣванія. Совершенно равномернымъ ксеноморфное развитіе не можетъ быть, потому что различныя силіи каты обладаютъ неодинаковыми кристаллизационными стремленіями, поэтому происходятъ и исключенія изъ эвтектического правила. Вещества, которыя скопляются въ болѣе многочисленныя кристаллическія зерна и болѣе растутъ, чѣмъ другія, превосходятъ своимъ развитіемъ остальные. Такими, такъ сказать, обгоняющими другіе минералами являются, напр. основныя полевые шпаты.

Если магма затвердѣваетъ не на глубинѣ, но выбрасывается на поверхность, охлажденіе можетъ подвинуться впередъ уже до ея выхода настолько, что отдѣльныя вещества (пересыщающія магму), напр. лейцитъ, кристаллизуется аутоморфно. После изліянія немедленно наступаетъ процессъ образованія минераловъ. Остатокъ магмы въ расплавленномъ состояніи (маточный растворъ) приближается къ эвтектической точкѣ: однако онъ не можетъ отвердѣть подобно гранитамъ. Онъ является уже настолько вязкимъ вслѣдствіе охлажденія, что подвижность молекулъ, необходимая для образованія большихъ кристалловъ уже утрачена. Перемѣщеніе молекулъ затрудняется тѣмъ болѣе, что изъ магмы выдѣляется водяной парь, который и способствовалъ раньше соединенію молекулъ. Если вязкость вещества препятствуетъ совершенно всякимъ явленіямъ кристаллизціи, маточный растворъ затвердѣваетъ въ с т е к л о. /Если

послѣдовало образованіе крошечныхъ кристаллическихъ зеренъ, то магма затвердѣваетъ въ агрегатъ совершенно плотный по нужному виду, и называемый **ф е л ь з и т о м ъ** (стр. 132). Фельзитовое вещество или стекло, или, наконецъ, смѣсь того и другого образуетъ основную массу (базисъ), въ которой разсѣяны аутоморфные кристаллы первой фазы отвердѣванія. Структуру, характеризующуюся присутствіемъ такихъ аутоморфныхъ выдѣленій въ однородной, плотной, основной массѣ, и называть **п о р ф и р о в о й**. (стр. 134).

Стекловатая структура возникаетъ, когда силикатовый, огневой жидкій растворъ еще до начала выдѣленія отдельныхъ минераловъ становится настолько вязкимъ вслѣдствіе быстрого охлажденія, что смѣшанные молекулы различныхъ веществъ вообще не могутъ группироваться, но затвердѣваютъ въ такомъ же относителъномъ распредѣленіи, въ какомъ они находятся въ растворѣ. Поэтому стекло и называютъ **т в е р д ы м и р а с т - в о р а м и**. При пересѣкающемъ залеганіи лава затвердѣваетъ въ стекло только на охлаждаемыхъ поверхностяхъ, ограничивающихъ ее: также потоки и шлаковые выбросы изъ вулкана покрываютъ стекловатой корой. Какъ исключеніе, затвердѣваютъ въ стекло и цѣлые потоки (обсидіанъ).

К л а с с и ф и к а ц і я **и з в е р ж е н н ы х ъ** **п о р о д ъ** **в ѣ** **з а в и с и м о с т и** **о т ъ** **и х ѣ** **т е к т о н и ч е с к и х ъ** **о т н о ш е н і й**.

Въ отношеніи участія изверженныхъ породъ въ строеніи земной коры необходимо остановиться на такомъ принципѣ ихъ

группировки, который лучше всего выражалъ бы идеи отноше-
 ній породъ къ земной корѣ, какъ залегающихъ или внутри ея,
 или на ея поверхности. Мы можемъ поэтому группировать всѣ
 подземныя, интрузированныя въ земную кору массы, вѣтъмъ
 только поднятія и раскрытія передъ нами денудацией, въ однихъ
 отдѣлахъ горныхъ породъ и л у т о м н ч е с к и хъ, и н -
 т р у з и в н ы хъ (или / с у б с е к в е н т н ы хъ.
 (послѣдующихъ по Гини). Съ другой стороны всѣ породы, кото-
 рые излились на поверхность, какъ обыкновенныя вулканичес-
 кія образованія въ расплавленномъ или обломочномъ видѣ и ко-
 торыя, слѣдовательно, отлагались одновременно съ образовані-
 ями, возникшими тогда на поверхности земли, - можно соеди-
 нить въ другую группу подъ названіемъ в у л к а н и ч е с -
 н ы хъ, э ф ф у з и в н ы хъ, м е л д у н а с л о е в -
 н ы хъ или одновременныхъ (по Гини). Первая - послѣдующи
 относительно заключенныхъ ихъ массъ, вторая - одновременны
 имъ.

Очевидно, что такое раздѣленіе только относительно. Каждая
 вулканическая масса, которая появилась на поверхности пото-
 комъ лавы и правильно насловалась съ одновременными ей отло-
 женіями, была связана ниже непосредственно съ расплавленной
 матеріей, не достигавшей до поверхности. Первая часть всей
 массы будетъ помѣщена нами во вторую группу, а вторая, пос-
 лѣ того, какъ она сдѣлается доступной нашему наблюденію, бу-
 детъ отнесена къ первой группѣ породъ. Однако рѣдко только
 удастся связать массы, излившіяся на поверхность, съ ихъ
 первичнымъ подземнымъ продолженіемъ.

Очевидно, что интрузивная горная порода necessarily моложе, чѣмъ породы, черезъ которыя она перемѣщается и въ которыя выдѣряется. Ея относительный возрастъ опредѣляется только отношеніемъ къ породамъ, черезъ которыя она проходитъ. Она очевидно моложе тѣхъ, лежащихъ даже на ней, которыя подверглись измѣненіямъ подъ ея вліяніемъ. Вѣроятный ея геологическій возрастъ опредѣляется группировкой всѣхъ окружающих ее породъ. Интрузивный характеръ можетъ опредѣлить только предѣлы ея древности. Мы знаемъ, что она должна быть моложе чѣмъ породы ее включающія: какъ много моложе, это опредѣляется уже другимъ путемъ. (Такъ масса гранита или серія гранитныхъ жилъ, рѣзко новѣе, чѣмъ серія собравшихъ въ складки породъ, черезъ которыя она выступаетъ; но она древнѣе, чѣмъ покрывающія ее слои неизмѣненныхъ ею породъ или породы, залегающія даже на вѣкоторомъ отъ нея разстояніи и заключающія ея обломки.

Съ другой стороны возрастъ вулканическихъ породъ точно устанавливается возрастомъ породъ, среди которыхъ она лежитъ напр. потоки лаавъ или туфа среди девонскихъ, каменноугольных или третичныхъ слоевъ. Вулканическія и интрузивныя породы, являющіяся среди тѣхъ же самыхъ осадочныхъ образований, на опредѣленномъ ихъ уровнѣ, не являются necessarily современниками. Наоборотъ, даже если интрузивная ясо выдѣряна вдоль первыхъ, онѣ моложе ихъ, но при этомъ только по внутреннему характеру ихъ можно различить такія породы между собой.

Значеніе такой классификаціи очень важно для исторіи вул-

Листъ 13-й. Лекціи по геологіи.

Игорь К. Голубовичъ

изверженія въ прошлыя геологическія эпохи. Для этого необходимо уметь строго различать обѣ группы изверженныхъ породъ. Нѣрѣдки случаи, когда геологъ находится въ затрудненіи, куда отнести данную породу; дѣйствительно, иногда это невозможно, такъ какъ природа не дѣлаетъ такого различія, какое устанавливается нами въ цѣляхъ систематизаціи работы. Дѣйствительно, для каждой вулканической породы очевидно былъ ея эволюціонный каналъ, такъ что всякая масса вулканическая по отношенію слоевъ на поверхности становится интрузивной относительно слоевъ внизу.

Признаки изверженнаго происхожденія породы могутъ быть петрографическіе, частью геотектоническіе. Среди петрографическихъ признаковъ наиболѣе важны: преобладаніе силикатовъ, (полевыхъ шпатовъ, рогов. обманки, олигита, оливинна) или такихъ рудныхъ минераловъ, какъ магнетитъ и титанистыя руды, извѣстныя структуры, присутствіе стекловатаго или растрекланнаго базиса. Эти признаки имѣютъ неодинаковое значеніе, какъ доказательства изверженнаго происхожденія; нѣкоторые изъ нихъ замѣчаются и въ кристаллическихъ сланцахъ, которые не были изверженными породами. Вообще, наиболѣе достовѣрнымъ петрографическимъ признакомъ изверженнаго происхожденія есть присутствіе стекла или слѣды первичнаго стекловатаго базиса (основной массы.). Мы не знаемъ другого естественнаго стекла, кромѣ какъ изверженнаго происхожденія. (Присутствіе или сочетаніе извѣстныхъ минераловъ можетъ имѣть только вѣроятное значеніе. Сандинъ, лейцитъ, нефелинъ, оливинъ, напр., большей частью характеризуютъ вулкани-

ческий материал; также сочетание тонко кристаллического плагиоклаза съ темным згитомъ, оливиномъ, и магнетитомъ или роговой обманкой встрѣчается только среди изверженныхъ породъ.

Реологъ долженъ главнѣйше опираться при опредѣленіи изверженнаго происхожденія породы на ея геотектоническій характеръ. Этотъ характеръ находится въ согласіи съ условіями ея отвердѣванія. Этотъ характеръ и позволяетъ рѣшить, была ли порода извержена, какъ plutonic или вулканическая.

1. П л у т о н и ч е с к і я г о р н я п о р о д а .

Воѣ такія породы имѣютъ зернисто-кристаллическую структуру, но съ фельзитовыми или стекловатыми разностями. Эта группа породъ обнимаетъ значительное число изверженныхъ породъ — гранитъ, сіенитъ, кварцевый порфиръ, ріолитъ, діоритъ, габбро и т.д. Съ ними можетъ быть связанъ другой рядъ породъ, который характеризуется обломочнымъ характеромъ и включаетъ аггломераты и туфы, выполнявшіе выходы каналовъ вулкановъ.

Послѣ нѣкотораго развѣна въ большинствѣ случаевъ легко отличить, даже въ образцахъ, кристаллическія глубинныя породы и излившіяся лавы. Зернисто-кристаллическій гранитъ и сіенитъ безъ всякихъ слѣдовъ стекловатой основной массы являются типомъ первыхъ; ячеистая или шлаковая лава служитъ представителемъ породъ, излившихся на поверхность. Но такія отличія въ сложеніи не могутъ считаться достовѣрными во воѣ случаяхъ. Можно видѣть, напр., нѣкоторыя лавы съ такой зернистой кристаллической структурой, что ихъ можно было бы принять за гранитъ, а съ другой стороны и такіе ячеистый харак

теперь не исключает возможности интрузивного характера пород. Не следует вообще очень преувеличивать глубину, на которой возможно образование интрузивных (глубинных) пород. До сих пор мы не знаем, следует ли в образовании их считать главными факторами только давление (тогда приходится понимать вероятную глубину их образования) или только участие воды и минерализаторов. В последнем случае глубину можно предполагать значительно меньшей. Врөггеръ для области Христіаніи считает возможным образование гранита даже на глубинѣ 600 м. На Санторинѣ видѣли образование пород полнокристаллической структуры при условіяхъ сравнительно не значительнаго давленія. Въ Евганеяхъ находятся зернисто-кристаллическіе трахиты подъ потоками лавы.

Массы обломочнаго вулканическаго матеріала справедливо считаются за доказательство поверхностнаго проявленія вулканизма и въ большинствѣ случаевъ ихъ проявленіе слоями на поверхности есть слѣдствіе послѣдовательныхъ изверженій. Однако известны случаи въ нѣкоторыхъ древнихъ вулканическихъ областяхъ, гдѣ такой обломочный матеріалъ заполняетъ не только верхъ вводнаго канала, но выстилаетъ всю воронку плотной твердой массой. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ взрывъ лавы въ подземныхъ пустотахъ увеличиваетъ такія накопленія аггломератоваго матеріала.

Общій законъ, который управляетъ интрузіей породъ въ земную кору, можетъ быть выраженъ такъ: каждая расплавленная масса, поднимающаяся снизу вверхъ подъ давленіемъ, или подъ вліяніемъ расширенія заключающихся въ ней газовъ, или увели

ченія ея объема (Аррениусъ, Штибель), стремится распростра- ниться по линіямъ наименьшаго сопротивленія. Такія линіи за- висятъ въ каждомъ случаѣ отъ строенія земной коры и энергій изверженія. Онѣ могутъ опредѣлиться ранѣе существовавшей ди- слокацией, плоскостями напластованія, поверхностями соприко- сновенія двухъ разнородныхъ геологическихъ образованій, од- новременнымъ образованіемъ разлома, или другими болѣе слож- ными линіями слабого строенія земной коры. Въ то же время интрузивная масса расплавляетъ и измѣняетъ породы, въ кото- рой она вѣдряется, поглощая часть ихъ въ свою массу. Делесъ и Морозевичъ убѣдились въ очень сильномъ развѣданіи глина - ныхъ тиглей расплавленнымъ веществомъ породъ. Это можетъ об- яснить случаи заполненія пространствъ, равнѣе занятыхъ осадоч- ными породами, и дробность состава такихъ интрузивныхъ массъ.

Форма канала, или того пути, по которому изверженная поро- да поднимается, опредѣляетъ вѣдную форму интрузивной массы. Это отношеніе даетъ очень удобное основаніе для классифика- ціи интрузивныхъ толщъ. Соответственно формамъ заполняемаго пространства, интрузивныя породы могутъ быть раздѣлены на штоки (*bosses*) или безформенныя массы, горизонтальныя зале- ги (*dills* или *sheet*), жилы или лейки и горловинны. (*necks*)

Ш т о к и .

Штоки представляютъ безформенныя массы, которыми разорваны породы, среди которыхъ они залегаютъ.

Можно отмѣтить, что гдѣ породы рядомъ встрѣчаются въ формѣ штоковъ и интрузивныхъ горизонтальныхъ залежей, жилъ, въ

штокахъ онѣ болѣе грубо зернисты. Въ особенности это отчетливо обнаруживается на пироксеновыхъ породахъ.

Раньше уже было указано, какъ болѣе основныя части изверженной массы концентрировались по периферіи штоковъ, середина которыхъ представляетъ часто породы болѣе кислыя. Въ теченіе процесса отвердѣванія интрузивная масса можетъ быть разорвана, и тогда части болѣе жидкой массы выйдутся въ такія трещины, образуя жилы, обинующею значительнѣе болѣе кислотныя, чѣмъ породы, въ которой онѣ проходятъ.

Г р а н и т ь . Прежде вѣрили въ положеніе, что гранитъ представляетъ древнѣйшую изъ породъ, на которой залегаютъ все остальные. Эта мысль безъ сомнѣнія опиралась на фактъ, что гранитъ находится выступающимъ надъ гнейсомъ, кристаллическими сланцами, которые въ свою очередь покрыты древнѣйшими осадочными образованіями. Интрузивный характеръ гранита подтверждается многочисленными отвѣтвленіями, доказывающими, что они образованы позднѣе, чѣмъ по крайней мѣрѣ тѣ породы, въ которыхъ онъ залегаетъ. Темъ не менѣе составъ и структура гнейса и слюдяного сланца долго заставляла думать, что эти породы представляютъ производныя изъ гранита и такимъ образомъ считали, что гранитъ представляетъ только послѣдующее продавливаніе отъ обширной гранитной коры. Такимъ образомъ поддерживалась мысль о первичной природѣ гранита. Какъ извѣстно изъ способовъ плавленія и отвердѣванія породъ и микроскопической структуры самого гранита, эта порода должна быть разсматриваема какъ отвердѣвшая подъ большимъ давленіемъ въ присутствіи перегрѣтой воды, часто съ жидкой угольной кислотой, фторомъ и т.д. - это все условія, которыя вѣроятны.

никогда не осуществились непосредственно около земной поверхности, развѣ, можетъ быть, въ тѣ первичныя эпохи жизни земли, когда атмосфера была насыщена тяжелыми парами, и атмосферное давленіе на поверхности было значительно больше, чѣмъ теперь. Была ли первичная кора отвердѣванія гранитной природы или стекловатой — неизвѣстно, такъ какъ несомнѣнныя слѣдовъ ея мы не знаемъ. Тѣмъ не менѣе не сомнѣвались, что древнѣйшія извѣстныя кристаллическія породы должны быть гранитной природы или гранитовидными гнейсами, которые вѣроятно произошли отъ гранита.

Если сильное размываніе, разрушившее верхніе слои, обнаруживаетъ теперь гранитное ядро, это не можетъ служить доказательствомъ первозданной природы гранита. Это только показываетъ, что нижняя часть кристаллическихъ породъ имѣетъ гранитное сложеніе и что чѣмъ глубже мы проникаемъ въ земную кору, тѣмъ вѣроятнѣе встрѣтить гранитное ядро. Если бы даже эта гранитная оболочка окружала всю землю, она можетъ и не быть очень древняго возраста, но крайней мѣрѣ она можетъ представлять продуктъ отвердѣванія самыхъ различныхъ періодовъ, какъ это и подтверждается нахожденіемъ гранита среди самыхъ различныхъ осадочныхъ образованій до третичнаго включительно. Даже въ настоящее время возможно его образованіе, такъ какъ условія для этого имѣются. Какъ общее положеніе однако вѣрно, что граниты появляются въ сочетаніи съ болѣе древними и, слѣдовательно, нижними породами, чаще, чѣмъ съ болѣе новыми и верхними; что понятво само собой. Граниты при ихъ глубинной природѣ должны пересѣкать наиболѣе древ-

нія породи преждє, чѣмъ приблизитися въ поверхности. и мно-
гіе граниты вѣкогда ле подвѣялись выше наиболѣе глубокихъ
древнихъ породъ. Денудація, уничтожая покрывающія породи,
должна уничтожить и часть гранита, достигающія до болѣе
верхнихъ породъ.

Гранитныя образованія часто составляютъ центральныя части
горныхъ хребтовъ или обрѣзуютъ родъ ядра различныхъ гней-
совъ, сланцевъ и др. кристаллическихъ породъ. Они появля-
ются въ видѣ обширныхъ штоковъ, которые пересѣкаютъ безразли-
чно всѣ породы по либѣ ихъ проявленія и часто послѣдствіе
нихъ многочисленныя жилы (ансфизы). Въ то же время гранитъ
покрываетъ верѣдко сланцы и другія породы; напр. въ верх-
немъ Овгаденѣ валлообразная масса гранита съ сіебенсомъ, діо-
ритомъ и измѣренными породами покрывается на сланцахъ. Въ Ал-
пахъ и друг. горныхъ хребтахъ граниты залегаютъ обширными
пластообразными массами такого же простиранія, какъ и со-
провождающія ихъ породы.

Включенія въ гранитъ, которые отличаются отъ основной
массы гранита, сложены изъ и составовъ, можно сгруппировать
въ двѣ категоріи 1) Угловатые или округленные обломки, вѣ-
роятно оторванные отъ породъ, черезъ которыя происходила
интрузія гранита. Они замѣтно преобладаютъ къ краямъ штоко-
выхъ массъ. Они обнаруживаютъ явный контактовый метаморфизмъ
подъ вліяніемъ массы, въ которую они заключены. 2) Круглые
или округленные конкреціи, обязанные происхожденіемъ про-
цессамъ агрегаціи (отдѣленія) и кристаллизаціи въ еще не
отвердѣвшей массѣ гранита. Таковы: напр. часто турмалиново-

вне ширь концентрическими поясами, или чаще скопления
съ радіальнымъ оложеніемъ, напр. въ шаровомъ діоритѣ. Та
кіе конкреціонные агрегаты всегда болѣе основны, чѣмъ
остальная масса.

Болѣе значительныя измѣненія въ сложении и структурѣ,
какія замѣчаются въ гранитовыхъ штокахъ отъ окраинъ къ
центру. Въ контактѣ съ окружающей породой гранитъ зна-
чительно гонкозернистѣе, чѣмъ въ срединѣ, хотя не настоя-
ко, какъ это обнаруживается въ штокахъ болѣе основныхъ по-
родъ (габбро, діабазовъ, долеритовъ); вѣроятно это зави-
ситъ отъ того, что ^{болѣе} породы около гранитовъ были болѣе
нагрѣты, чѣмъ породы болѣе поверхностныя, среди которыхъ
наблюдаются интрузіи основныхъ породъ. Часто краевня час-
ти представляютъ оланцеватое расположеніе составныхъ ча-
стей, имитирующихъ впечатлѣніе гнейса; оланцеватость
слѣдуетъ строго параллельно краямъ контакта и ^{направленію}
круто къ срединѣ штока.

Важно указать на гранулитахъ Morbihan, что болѣе
штоки представляютъ ясныя модификаціи въ структурѣ и со-
ставу отъ центра къ периферіи, а малые этого не обнаружи-
ваютъ и скорѣе могутъ быть рассматриваемы, какъ апофизы
отъ крупныхъ. Модификаціи зависятъ только отъ вліянія ок-
лажденія, которое дѣйствуетъ на ориентировку минераловъ,
ихъ группировку и порядокъ кристаллизаціи; никакого обмѣ-
на веществъ между гранитомъ и окружающей породой не было.
Отношеніе гранита къ окружаю-
щимъ породамъ. Давно уже было отмѣчено измѣ-

нение породъ около контактовъ съ гранитами. Это измѣненіе развивается въ предѣлахъ пояса (*zone*) около гранита, шириною отъ вѣсколькихъ метровъ до 2 или 3 миль. Наиболее интенсивное измѣненіе замѣчается вблизи гранита, а къ окраинамъ контактового пояса первоначальный характеръ породъ возобновляется. Иногда же наоборотъ, именно около гранита нѣтъ никакихъ замѣтныхъ измѣненій. (см: дальше метаморфизмъ).

И н ж е к ц і я г р а н и т а - г р а н и т н а я - ц і я. Проникновение гранита въ различные породы было изучаемо очень старательно Мишель Леви, Седергольмомъ и друг. М. Леви полагаетъ возможнымъ различить два типа такого прониканія. Въ одномъ случаѣ матеріалъ гранита такъ поглощаетъ (абсорбируетъ) вещество окружающей породы, что нельзя провести никакой границы между ними. Въ другомъ случаѣ гранитная масса везикуло входитъ сама между тончайшими плоскостями раздѣленія сланцевъ, нѣсящая ихъ и образуя перемежаемость листовъ ^(сланца) и гранита. Эта замѣчательная структура, названная Леви инъекціей *lit par lit*, была впервые описана въ примѣрахъ изъ ^{фр}Франціи. Происходить настоящее мелкое и тѣсное проникновение гранитнаго матеріала, что окончательный продуктъ скорѣе походить на настоящій гранитъ, чѣмъ на сланецъ. Кварцъ и полевой шпатъ кристаллизуются между плоскостями напластованія, кливажа или сланцеватости и преобразовываются, напр. обломочный глинистый сланецъ въ породу, которая только съ трудомъ можетъ быть отличена отъ древнихъ гнейсовъ. По изслѣдованіямъ *Morin*

и *Greenly* въ Сутерлендъ вся масса породы при этомъ должна подвергаться въ теченіе долгаго времени высокой температурѣ, такъ какъ даже тамъ, гдѣ гранитъ посмѣаетъ интрузивныя прожилки и жилы въ такіе сланцы, онъ никогда не обнаруживаетъ при этомъ никакихъ рѣзкихъ тонкозернистыхъ краевыхъ такъ называемыхъ "охлажденныхъ", какіе должны были бы появиться въ случаѣ охлажденія: гранитъ незамѣтно переходитъ въ окружающую породу рядомъ чечевичъ все болѣе тонкихъ, или тонко перемежаясь съ біотитовыми прослойками гнейса. Гранитъ становится самъ какъ бы сланцеватымъ; частію эта структура происходитъ насчетъ выѣдренія кварцево-полевошпатовыхъ элементовъ какъ въ сланцы, такъ и въ гранитъ. Можно прослѣдить всѣ степени перехода отъ включеній, сохраняющихъ еще ихъ естественную группировку, до тончайшихъ выѣдреній слюдянныхъ клоній.

Въ связи съ этимъ предметомъ нужно отмѣтить здѣсь, что давно уже обращено вниманіе на тѣсное отношеніе между гранитомъ и кристаллическимъ сланцемъ. Первоначально многіе геологи *) полагали, что нѣкоторые граниты метаморфическаго происхожденія, т.е. произошли постепеннымъ размягченіемъ и перекристаллизацией другихъ породъ на нѣкоторой глубинѣ внутри земной коры. Можно указать всѣ переходы отъ гнейса черезъ мало отличные отъ нихъ сланцы до неизмѣненныхъ осадочныхъ слоевъ, а граниты въ свою очередь переходятъ

*) *Peters, Bucholz* и друг.; въ этомъ выражается какъ бы отголосокъ ученія Вернера, что гранитъ представляетъ только измѣненную осадочную породу.

дять въ такіе гнейсы, т.е. крайніи членомъ такого метаморфизма считали гранить, а различные ослани и гнейсы менѣе измѣненными стадіями процесса. Теперь наблюденія показали, что гранить, хотя несомѣнно изверженная, а не метаморфическая порода, однако, какъ осадочныя породы, такъ и самъ гранить подвергается измѣненіямъ, процессомъ *lit par lit* показывая намъ родъ двойного метаморфизма, въ отношеніи котораго старая идея о метаморфическомъ происхожденіи гранита не совсѣмъ противорѣчитъ фактамъ, обнаруживаемымъ природой.

Штоки другихъ породъ кромѣ гранита обычно встрѣчаются рѣже, чѣмъ гранитовые. Диоритъ, сіенитъ, кварцевый порфиръ, габбро, діабазъ и базальтъ часто появляются въ формѣ штоковъ, частью вдоль трещинъ, частью вдоль слоистости, но часто выдвигнувшись и замѣтно переплавившими верхнія части породъ, черезъ которыя они проходились. Такіе штоки часто имѣютъ очень извилистыя границы, посмлая жили въ окружающія породы.

Связь гранита и другихъ интрузивныхъ породъ съ проявленіями вулканизма. Многіе изъ штоковъ гранита пересѣкаютъ земную кору, строго соотвѣтствуя^{но} своему положенію вулканическимъ выводнымъ каналамъ (*neck*). Граниты встрѣчаются иногда въ видѣ круглыхъ или эллиптическихъ массъ, которыя кажутся поднимающимися вертикально черезъ окружающія породы, не нарушая ихъ, какъ будто бы трубообразное отверстіе было наверху въ земной корѣ, че-

резь которое поднималось гранить. Нѣтъ сомнѣнія, что такіе изверженныя породы, какъ діоритъ, габбро и додеритъ, хотя части массъ отвердѣлихъ на глубинѣ во многихъ случаяхъ прямо связаны съ поверхностной вулканической дѣятельностью. Нѣкоторыя изъ нихъ представляютъ подземные отростки поднимающейся расплавленной массы, которая достигла поверхности въ видѣ потоковъ лавъ, хотя теперь эти послѣдніе смяты денудацией. Другія имѣютъ положеніе интрузивныхъ массъ, которая были задержаны въ тѣсномъ стремленіи открыть новый путь къ поверхности земли.

И н т р у з и в н ы я з а л е ж и (*dike sheets*).

Подъ такимъ названіемъ понимаютъ изверженныя массы, вѣдренныя между другими породами и теперь наблюдаемыя какъ болѣе или менѣе правильныя слоеобразныя массы. Во многихъ случаяхъ видно непосредственно, что такое вѣдреніе происходило по плоскостямъ наслоенія. Поднимающаяся расплавленная масса, прокладывая путь черезъ породы, или рѣже, поднимающаяся по трещинамъ, раньше существовавшимъ, или открытымъ въ моментъ самаго изверженія, направляется затѣмъ по линіямъ наименьшаго сопротивленія вдоль плоскостей напластованія; вѣдряясь такимъ образомъ, изверженная масса сноситъ часть покрывающихъ породъ и затвердѣваетъ почти параллельными банками (тортообразно-саке), *называ-
ются sheets*, шитъ (листы) или *dike*, сикъ (лежень, залежь).

Очевидно, что одніе изъ такихъ интрузивныхъ залежей могутъ представлять нѣкоторое сходство съ поверхностными потоками лавъ, когда такіе интрузивныя залежи открыты денудаци

оними процессами, или наоборот, съ потоками, покрытыми впоследствии.

Интрузивныя залежи отличаются слѣдующими признаками, которые конечно не всегда могутъ быть замѣчены одновременно всѣ:

- 1) Онѣ не залегаютъ совершенно согласно съ слоями вмѣщаемыхъ породъ, но часто пересѣкаютъ ихъ и располагаются между другими слоями.
- 2) Онѣ заключаютъ обломки вмѣщаемыхъ породъ.
- 3) Онѣ посылаютъ отпрыски или жилы въ вмѣщаемія породы.
- 4) Онѣ сообщаются съ жилами, которыя пересѣкаютъ левачій бокъ и представляютъ каналы, по которымъ была доставлена порода залежей.
- 5) Онѣ болѣе грубо-зернисты, въ средней части и болѣе тонко даже скрито-зернисты въ нижней и верхней частяхъ.
- 6) Онѣ рѣдко пористы или имѣютъ мѣлкоячеобразное сложеніе.
- 7) Вмѣщаемія породы какъ лежачаго, такъ и висячаго бока болѣе или менѣе измѣнены.

Терминъ "*Sill*" происходитъ отъ замѣчательнаго примѣра въ сѣверной Англіи, известнаго подъ названіемъ *Great Whin Sill*. Эта залежь прослѣжена на протяженіи 80 миль и занимаетъ пространство болѣе 1000 кв. миль. Она измѣняется въ мощности отъ 20 до 150 ф.; а въ среднемъ имѣетъ толщину около 80 - 100 ф. Она ясно интрузивнаго характера, пересѣкая мѣстами вмѣщаемія массы и метаморфизуя ихъ. (см. ф. 14)

Другимъ литологическимъ признакомъ интрузивныхъ залежей служитъ значительное разнообразіе въ составѣ и структурѣ



Фиг. 14. Разрѣзъ части интрузивной залежи.

Great Whin Sill.

1) силурійскія отложения; 2) каменно-угольные известняки; 3) интрузивная залежь, которая къ западу утончается и видѣруется въ горизонты все болѣе высокіе; 4) свита *Mills Lane grit* (песчаники, сланцы и конгломераты).

отдѣльных частей одной и той же массы. Порода въ одномъ мѣстѣ кристаллически зернистая съ элементами діабазы, въ другомъ на самомъ незначительномъ разстояніи является зернистой съ ортоклазомъ и кварцемъ, или переобнается гнилами тонко-зернистаго кремнистаго вещества. Эти различія, подобныя тѣмъ, которыя замѣчаются въ крупныхъ штокахъ (см. выше), являются слѣдствіемъ послѣдовательнаго отвердѣванія магмы, въ которой болѣе основныя части отдѣляются первыми. Но съ другой стороны это заставляетъ подозрѣвать, что большія интрузивныя массы впаивали части выщавшихъ породъ, что вызвало мѣстное ненормальное измѣненіе состава.

Даклоиты представляютъ одинъ изъ видовъ интрузивныхъ залежей.

В л і я н і е н и т р у з и в н и х з а л е ж е й
на ви́шніи́я породы. Прекрасные примѣры такого вліянія за-
мѣчаются въ контактѣ такихъ залежей: Отвердѣваніе, окрас-
ка, плавленіе, появленіе призматической отдѣльности, пре-
ращеніе угля въ коксъ, известняка въ мраморъ и другія из-
мѣненія наблюдаются при этомъ.

С о о т н о ш е н і е н и х з а л е ж е й с з а л е ж е й в у л к а н и ч е-
с к и м и я в л е н і я м и. Многія вулканическія поро-
ды появляются въ формѣ интрузивныхъ залежей — кварцевый
порфиръ, ріолитъ, ортофиръ, трахитъ, діоритъ, мелафиръ,
діабазъ, базальтъ, змѣевитъ. Здѣсь можно повторить сдѣлан-
ное заключеніе о связи штоковъ съ вулканическими породами.

Интрузивныя залежи въ древнихъ вулканическихъ областяхъ
тѣсно связаны съ жилами и поверхностными изліявіями и но-
сятъ слѣды подземнаго механизма вулканической дѣятельно-
сти. Онѣ часто появляются среди породъ, лежащихъ подъ из-
лившимися лавами и туфами или пересѣкають иногда вулкани-
ческія массы. Иногда онѣ представляютъ слѣды послѣдней фа-
зы вулканической энергіи, когда устье выводного канала
уже было закрыто, и эруптивная сила была достаточной толь-
ко для вытекціи этихъ массъ между слоями подъ основаніемъ
вулкана: при этомъ замѣчено, что послѣднія интрузіи часто
болѣе кислы, чѣмъ лавы, излившіяся раньше.

с) Ж и л н ы л е й к и .

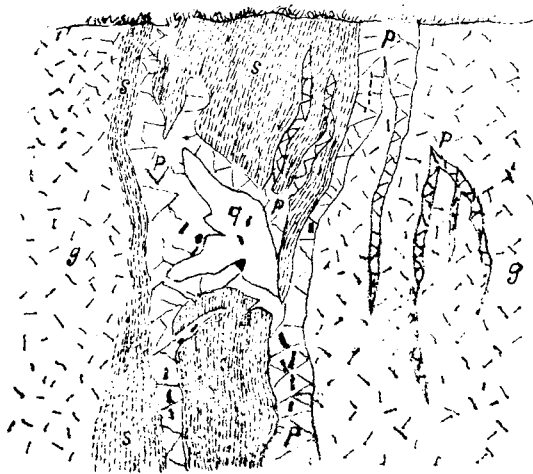
Терминъ жила принимается во всякой минеральной массѣ, кото-
рая отвердѣла въ открытой трещинѣ. Если эта масса отлага-
лась изъ воднаго раствора или путемъ возгона, говорятъ о

и н е р в л ь н о й ж и л ь. Когда матеріалъ жилы былъ доставленъ въ расплавленномъ или размягченномъ состояніи въ трещину какойнибудь другой породы, говорятъ о ж и л ь и з в е р ж е н н о й п о р о д ы; если жила имѣетъ видъ вертикальной массы, въ видѣ гребня, говорятъ, что это д е й к а. (см. фиг. 114, стр. 170, Мушкетовъ, I) Если жила образуетъ часть той же изверженной породы, въ которую она теперь включена, но матеріалъ ея доставленъ въ фазу отвердѣванія, болѣе позднюю, чѣмъ тѣ части, въ которыхъ она заключена, ее называютъ о д н о в р е м е н н о й жилой (*contemporaneous vein*) Если она была выкристаллизована или выдѣлена изъ составныхъ частей еще не отвердѣвшей или вязкой горной породы, ее называютъ с е г р е г а ц і о н н о й жилой.

Наибольшее разнообразіе жилъ представляетъ гранитъ; можно отличить три категоріи его жилъ: 1) выдѣреніе (вентузія) его въ окружающія породы, что лучше всего доказываетъ изверженное происхожденіе гранита 2) жила гранита въ гранитѣ же, который нужно рассматривать за болѣе раннее образованіе, а жила — за послѣднія жидкія части гранитовой магмы, вдавленныя переищемленіемъ частей земной коры въ трещины; 3) пегматитовыя жилы. Послѣднія часто пересекаютъ обыкновенный гранитъ и должны быть рассматриваемы за интрузивныя жилы, но онѣ не были вдавлены въ нихъ теперешнемъ кристаллическомъ состояніи. Ихъ кристаллическое состояніе было достигнуто въ послѣдствіи нѣкоторыми процессами сегрегации и перекристаллизациі ихъ матеріала (по Гини).

О д н о в р е м е н н ы е ж и л ы - представляют жилы кристаллических породъ, хотя отличающихся отъ вмѣщающихъ породъ, но представляющихъ вѣроятно часть ихъ же. Напр. жилы гранита второй категоріи, такія же жилы наблюдаются въ габбро, діоритѣ и другихъ породахъ. Чаше всего онѣ наблюдаются среди штоковъ и залежей. Онѣ имѣютъ видъ взогнутыхъ, разорванныхъ лентъ, обыкновенно мощности не болѣе фута. Сложеніе ихъ болѣе тонко-зернисто, чѣмъ вмѣщающихъ породъ. Онѣ не отдѣляются отъ послѣднихъ рѣзкими заѣздами, а переходятъ въ нихъ, такъ что отбить ихъ отъ породъ очень трудно: около границъ такихъ жилъ замѣчается взаимная протрузія (вмѣдреніе, проникновеніе), составляющихъ ее кристалловъ и кристалловъ окружающей кристаллической породы. Онѣ образованы вообще вмѣдреніемъ матеріала изъ незатвердѣвшихъ частей толщ въ другія ея части (частично) отвердѣвшія или уже вязкія, при этомъ происходитъ экзосмосисъ или переплавление вѣкоторыхъ минераловъ вдоль ограничивающихъ поверхностей.

С е р р е г а ц і о н н ы е ж и л ы называютъ неправильныя полосы, болѣе или менѣе кристаллическаго сложения, у которыхъ составляющіе минералы выкристаллизовались въ болѣе отличительныя формы, чѣмъ въ окружающей массѣ, вдоль опредѣленныхъ линій или около отаѣльных центровъ. Такія жилы наблюдаются и въ кристаллическихъ сланцахъ, и даже въ осадочныхъ породахъ, подвергшихся раздробленію и метаморфизаціи. Вдоль границъ серрегаціонныхъ жилъ въ гранитѣ иногда наблюдается особенное листоватое его сложение.



Фиг. 15. Пегматитовая жила среди разлистованного гранита *Rubishan Quarry*. Абердинъ. *gg*) обыкновенный гранитъ. *pp*) крупнозернистый пегматитовый гранитъ (жила); *ss*) разлистованный гранитъ, незаметно переходящий въ гранитъ *g; q* -отложения кварца. Черныя пятна въ *p* и *g* представляютъ гвѣзды турмалина.

Такъ около Абердина крупно-зернистый пегматитъ (изъ широкихъ таблицъ мусковита, черного турмалина и кварца съ кристаллами берилла и другихъ минераловъ) появляется въ окрѣпѣ его гранита, и около поверхностей раздѣленія ихъ вдоль контактовъ гранитъ не нѣсколько дюймовъ принимаетъ листоватое сложеніе, совершенно напоминающее листоватый гнейсъ. Это разлистование могло зависѣть отъ перемѣненія гранитной массы вдоль трещинъ, между тѣмъ какъ сама порода и матеріалъ, вѣдрявшійся въ такія трещины, мало были способны подчиняться молекулярной перегруппировкѣ.

Въ дейнахъ, (а также другихъ изверженныхъ массахъ), наблюдаются примѣры повторенныхъ (*multiple*) и сложныхъ (*compound*)

или *composite*) жила; (первыя при неоднократномъ образованіи трещинъ при однородномъ матеріалѣ, вторыя при повторномъ заполненіи и различномъ выполняющемъ матеріалѣ).

Necks (г о р л о в и н ы).

Подъ такимъ названіемъ Гики понимаетъ выполненія трубообразныхъ пространствъ первоначальныхъ вулканическихъ выводныхъ каналовъ. Они представляютъ выполненіе выводныхъ каналовъ лавой или обломочнымъ матеріаломъ. Денудация увеличиваетъ конусъ и расширяя выводной каналъ. Они появляются независимо отъ раньше существовавшихъ трещинъ. (см. выше)

В у л к а н и ч е с к і я п о р о д ы , н а и
о д н о в р е м е н н ы я (п о Г и к и) ф а -
з ы э р у п т и в н о й с и л ы .

Разсмотримъ теперь черты, характеризующія вулканическія породы древняго возраста, позволяющія прослѣдить вулканическія явленія въ прошломъ и по которымъ можно установить послѣдовательныя фазы изверженій. Очевидно, что вулканическій матеріалъ, т.е. доставляемый на поверхность, во всемъ его объемѣ долженъ согласоваться въ литологическомъ отношеніи съ породами плутоническими, только что описанными, не достигшими поверхности при вулканическихъ изверженіяхъ

Отличительными чертами такихъ вулканическихъ породъ будутъ:

1) Онѣ появляются въ формѣ слоеобразныхъ массъ, иногда лавовыхъ, иногда обломочнаго характера, залегающихъ совершенно согласно со слоями осадочныхъ породъ, среди которыхъ онѣ появляются теперь.

- 2) Ояф не прорывається через покриваєчія ихъ породы, хотя иногда отривають и увлекають части осадочныхъ породъ лежащаго бока, по которымъ ояф текля:
- 3) Верхняя и нижняя поверхности лавовыхъ слоевъ обнаруживають обыкновенно шлаковое или пористое сложеніе, которое можетъ распространяться также и на всю толщу разсматриваемой залежи.
- 4) Обломки верхней поверхности ихъ нерѣдко находятся въ породахъ висячаго бока.
- 5) Слои туфа часто перемежаются съ банками лавы, но могутъ также переслаиваться и обыкновенными осадочными породами.

Признакомъ проявленія вулканической энергіи, т.е. ея поверхностнаго проявленія въ какой нибудь древней группѣ породъ, служатъ каждый слой туфа, представляющій слѣды отдѣльнаго поверхностнаго пароксизма. Последовательность такихъ слоевъ показиваетъ серію подобныхъ изверженій: можно указать примѣры такихъ изверженій отъ самыхъ незначительныхъ до изліяній массы лавы и туфа мощностью въ тысячи футовъ, перемежаемыхъ осадочными породами. Присутствіе настоящихъ вулканическихъ туфовъ имѣетъ коренное значеніе для установленія вулканическихъ явленій прошлаго.

Если иногда можетъ быть сомнѣніе, принять ли какое нибудь разсматриваемое образованіе за поверхностный потокъ лавы или интрузивную залежь, то въ отношеніи обломочнаго матеріала не можетъ быть такого сомнѣнія. Оставляя въ сторонѣ случайную брекчійную структуру, встрѣчаемую на

концах интрузивных масс, мы можем рассматривать все обломочные изверженные породы за доказательство вулканического действия, проявлявшегося на поверхности. Аггломератовое накопление, найденное в вулканическом выводном канале, не может возникнуть, пока пары и газы не откроют себе путь к поверхности и не превратят в обломки породы выводного канала, представляющие затем верхнюю часть поднимающегося лавового столба¹⁾. Следовательно, слой или серия слоев туфа, появляющихся в перемежаемости с отложениями какой-нибудь геологической системы, свидетельствуют о соответствующих вулканических извержениях. Эти породы имеют наибольшее значение для объяснения вулканической истории каждой области.

Вулканические туфы и конгломераты находятся среди осадочных пород без сопровождения лавы гораздо чаще, чем наоборот лавы без туфа; и в настоящее время на действующих вулканах мы встречаем чаще конусы пепловые и шлаковые, чем лавовые без пепла. (Значительная мощность тонкого туфа, напр. среди девонских и каменноугольных пород Шотландии показывает значительную продолжительность вулканической деятельности и отложение материала в родном бассейне, в котором почти не осталось других осадков. Но там же можно видеть и тонкие слои туфа, перемежающиеся с слоями песчаника, глины и известняка: это указывает на слабые и периодические извержения. Такие туфы часто и

1) Напомним, что Штубель держится в этом отношении иного мнения, допуская возможность образования аггломератовых масс и внутри вулканического очага.

являются съ окаменѣлостями. Примеры этого очень часты среди каменноугольных образований Шотландіи, гдѣ отложение происходило на днѣ моря. (Мухоморовъ, т.1, стр. 475, ф.533) Въ случаѣ субъаэральнаго изверженія туфы перемешиваются съ озерными или рѣчными отложениями съ сухопутной флорой и фауной (Овернь)

Если формы залеганія интрузивныхъ породъ очень разнообразны, то наоборотъ, формы вулканическихъ образований, отлагавшихся на поверхности, гораздо разнообразнѣе. Лава течетъ, измѣняясь въ мощности, въ зависимости отъ ея жидкости, угла наклона или вообще топографическихъ неровностей. Она образуетъ правильные или чечевичеобразные слои съ верховной поверхностью; сложеніе шлемовое. Въ интрузивныхъ породахъ рѣдко встрѣчаются призматич. или миндалекопеч. разности, а если и встрѣчаются, то порн обыкновенно очень малы и распределяются вдоль опредѣленныхъ линій поясами; въ лавахъ порн болѣе обильны, очень различны по величинѣ и распредѣленію; отъ верхней поверхности лавовыхъ массъ нѣтъ или въ покрывающія породы, а наоборотъ, эти послѣднія часто заключаютъ обломки лавы. Иногда верхняя поверхность потоковъ изборозжена щелями, заполненными песчанникомъ или другимъ осадочнымъ матеріаломъ. Миндалековидныя пустоты чаще у всякаго бока и часто удлиненой формы; указывая направление потока. Остолбчатая отдѣльность въ особенности характеризуетъ поверхностныя изліянія (агаезиты, риолиты) Основные породы часто обнаруживаютъ эллипсоидальную отдѣльность или неправильную подушкообразную; прожектур

часто заполнены осадочными массами, напр. в палеозойских отложениях *Radchulima*. Происхождение этих форм объясняется излиянием лав в воду.)

Чечевичеобразные массы или группы таких масс представляют наиболее обильнейший тип поверхностных излияний среди палеозойских и мезозойских отложений. Простые массы таких лав среди осадочных пород без других следов вулканической деятельности сравнительно редки. Чаще несколько таких масс расположены рядом, сопровождаясь туфами и нагромождаясь массами в 1000 фут. мощностью.

Массы вулканических образований (также и интрузивных) испытывают все последующие изогнутия и нарушения залегания вместе с слоями, среди которых они лежат (т. 1, стр. 476, ф. 533). Среди различных вулканических образований проф. Гами различает черты трех типов.

1) Тип Везувия - из слоев лав и туфов, исходящих как бы из одного центрального выводного канала. Мощность слоев очень быстро уменьшается по мере удаления от такого центрального пункта извержения; отсюда и ясная чечевичеобразная форма изверженных масс. (ф. 530; 531 стр. 475, муз. кат. 1).

2) Тип плато, представляющий залежи лав и туфа накопившиеся не около центрального выводного канала, а распространявшиеся по широкому пространству, до 1000 и более кв. миль. Это извержения типа лавового или трещинного. Лава значительно преобладает над обломочными продуктами.

Чаще всего встречается порода основной группы (Исландия; ф. 534)

1) *Mount Lewis South-Mal. Volcan., pl. XII.*

перскіе о-ва, Деканъ, Абиссинія, Вост. Сибирь, Колорадо). Морскіе слои рѣдко встрѣчаются въ связи съ такими вулканическими отложеніями, они были по преимуществу субаэральными. Также андезиты играютъ не малую роль въ такихъ отложеніяхъ платообразнаго типа. (фиг. 539, 540, стр. 480, т. I)

3) Т и п ъ П ю и, представляющій группы выводящихъ каналовъ, заполненныхъ аггломератовыми отложеніями или туфомъ съ дѣлами и жилами лавы, но часто и безъ нихъ. Это слѣдъ наиболѣе слабого проявленія эруптивной энергіи. Пюи Оверни, маары Эйфеля (ф. 541, 542, 543, стр. 481-482, т. I)

Н ѣ к о т о р ы е р е з у л ь т а т ы и з с л ы д о в а н і й Л я к р у а н а М а р т и н и к ѣ.

Въ центральной зонѣ распространенія убійственныхъ раскаленныхъ облаковъ погибло все живое подъ вліяніемъ какъ страшной механической силы потока газовъ и тепла, такъ и асфиксіи, и смертельныхъ ожоговъ. Многочисленные случаи, что рядомъ съ совершенно или частью обожженными трупами были находимы какъ тѣла, такъ и легко воспламеняемые предметы, какъ одежда, дерево, совершенно ветронутыми огнемъ, показываютъ, что часто температура оказывалась достаточной для обугливанія только при наличности достаточно толстаго слоя тепла, покрывавшаго предметы (температура раскаленныхъ облаковъ была выше 450°). Признаки плавленія на многихъ металлическихъ предметахъ представляютъ слѣды послѣдующихъ пожаровъ. Къ окраинамъ центральной зоны температура быстро падала, и пораженія тамъ происходили исключительно отъ ожога водяными паромъ и тепломъ температуры около 100° . Асфиксія людей

и животных происходила не под влиянием каких либо ударных газов, как это предполагали после первых известий о катастрофе, а исключительно от поражения дыхательных органов раскаленными водяными паром и цеплом. Содержание N_2 и SO_2 было минимальным среди газов, как это подтверждается слабой степенью окисления металлических предметов. Предположение о присутствии CO_2 в CH_4 ничем не подтвердилось; в нём никакой надобности прибегать к такому предположению для объяснения катастрофы. Смертельное влияние цепа приводит к выводу, что катастрофа, быть может не была бы такой всеобщей, если бы в домах города *St Pierre* были подземные погреба, куда могли бы укрыться обитатели. Одним из двух людей, переживших катастрофу был преступник, заключенный в подземную темницу тюрьмы. Спасение другого, башмачника, зависело также частью от благоприятного положения его дома относительно движения раскаленного потока, хотя все другие жильцы погибли.

Во многих случаях смерть была мгновенной, подобно тому как это часто бывает при взрывах паровых котлов, когда трупы сохраняют положение людей в момент смерти. В других случаях люди видели приближение смерти, старались спастись бегством; быть может некоторые испытывали более продолжительную агонию под развалинами своих домов, но во всяком случае вся катастрофа развивалась с необыкновенной быстротой. Более мучительной была смерть несчастных людей по окраинам центральной зоны разрушения. В неё

сколько мгновений 8 мая 1902 г.: погибло 28000 людей, даже до 29000; совершенно точно не удалось установить цифру жертв.

Разрушения в городѣ и окрестностях представляютъ результатъ страшной механической силы, съ которой двигался потокъ газовъ и пепла. Сила тяжести и наклонное направление перваго взрыва опредѣлили ихъ направление. (Мы уже говорили о выдавливаніи (*extrusion*) магмы, которымъ закончилось изверженіе *Mont Pelée*. Здѣсь коснемся въ некоторыхъ подробностяхъ. Породы, отвердѣвшія въ теченіе ихъ полета (бомбы), или въ самомъ цѣлѣ купола, имѣли стекловатую основную массу микролитовой структуры и заключали кристаллы плагіоклаза, гиперстена и магнетита. Породы же, происшедшія вслѣдствіе отвердѣванія внутри купола и слѣвавшіяся доступными намъ при въкоторыхъ пароксизмахъ изверженія или при обрушеніи обелиска во время его медленнаго выдавливанія, имѣли основную массу, богатую кристаллами кварца. Здѣсь впервые наблюдалось образованіе кварцевой породы во время вулканическаго изверженія. Такое образованіе возможно только подъ давленіемъ, и здѣсь оно осуществлялось около самой дневной поверхности внутри нарастающаго купола, цѣль котораго вѣроятно не особенно даже толстый, былъ достаточно чень, чтобы вызвать соответствующее давленіе, которое *и* *причи* мы всегда были склонны считать возможнымъ только на значительной глубинѣ.

Это наблюденіе очень важно для объясненія одновременнаго образованія породъ различной кислотности; нельзя только

по степени кислотности считать такія породы за продукты различныхъ фазъ вулканическаго цикла! Это наблюдение объясняетъ также частое появленіе кислыхъ разностей породъ въ верхней части вулкановъ; такое распредѣленіе породъ представляетъ, следовательно, не результатъ раздѣленія по удѣльному вѣсу или слѣдъ болѣе новой фазы вулканизма, а результатъ образованія тѣла вулкана при извѣстныхъ физическихъ условіяхъ и отвердѣваніи въ верхней части подъ давленіемъ внѣшняго шита вулкана.

Древнія вулканическія гѣрвыя породы Антильскихъ о-вовъ относятся по Лякруа къ одной петрографической провинціи, именно съ преобладаніемъ лацита и гиперстеноваго андезита, это скорѣе Тихоокеанскій типъ, аналогичный породамъ вулканической оси Америки (Анды, центральная Америка, Мексика и западъ Соед. Штатовъ), но съ нѣкоторыми особенностями. Породы Малыхъ Антильскихъ о-вовъ, представляя одну петрографическую серію, отнюдь не происходятъ отъ одной глубинной магмы, и различные типы не находятся рядомъ на тѣхъ же островахъ и во всякомъ случаѣ не имѣютъ повсюду одинаковаго развитія. Породы, которыя доставляетъ современное изверженіе вулкана *La Soufrière* на о-вѣ *St-Vincent*, имѣютъ эквивалентныя имъ въ среди современныхъ лавъ вулкана *Mont Pelé*, даже не среди болѣе новыхъ породъ предшествующихъ проявленій вулканизма на Мартиникѣ, но среди породъ гораздо болѣе древнихъ. Отсюда можно сдѣлать выводъ, что эти два вулканическіе центра питаются очагами, хотя имѣющими общее происхожденіе, но съ давняго времени разъединенными.

Можно сказать, что магма, создавшая *M. Jelli*, находится уже съ давнихъ поръ въ кислой фазѣ развитія, а магма вулкана *La Soufrière* въ фазѣ значительно болѣе основной. За-мѣчательное совпаденіе наиболѣе крупныхъ пароксизмовъ обо-ихъ вулкановъ за періодъ времени 1902-1903 г. зависитъ вѣ-роятно отъ единой общей причины (см. объ этомъ раньше), вліявшей на разобщенные очаги этихъ вулкановъ.

Въ видѣ раскаленныхъ облаковъ было извергнуто въ корот-кое время и отложено на ограниченномъ пространствѣ кслое-сальное количество рыхлаго матеріала, высокая температу-ра котораго сохранилась еще продолжительное время. Охлаж-деніе этого матеріала при одновременномъ проникновеніи въ него воды тропическихъ дождей опредѣлило рядъ вторичныхъ явленій, наблюдаемыхъ впервые съ такой ясностью, какъ это было на Мартиникѣ. Такъ, впервые были наблюдаемы здѣсь фу-мароли безъ корней, проявляющія такую же послѣдователь-ность во времени, какъ и настоящія фумароли глубиннаго происхожденія; это показываетъ, что летучіе продукты, столь характерныя для вулканическихъ изверженій, выделяют-ся не только въ періодъ выдѣленія магмы изъ вѣдръ, но со-ставляютъ интегральную часть самой магмы. Источникомъ ле-тучихъ продуктовъ является не только магма, но и ея про-изводныя, т. е. рыхлые продукты.

Такія фумароли обычно выделяются медленно и спокойно, не-внесанный притокъ значительнаго количества дождевыхъ водъ къ горячему матеріалу вызываетъ также явленія взрывовъ и разрушительныхъ грязевыхъ потоковъ (безъ всякаго извер-

женія въ кратерѣ), показывавшихъ, что иногда въ вѣкоторомъ разстояніи отъ дѣйствительныхъ центровъ изверженія могутъ возникать и вторичные центры.

Отложения матеріала, вынесеннаго раскаленными облаками, представляютъ новый типъ отложений въ вулканическихъ обла-
стяхъ. Они не распределяются, какъ обычные отложения изъ
воды, по долинамъ, но покрываютъ склоны вулкана совершенно
независимо отъ топографіи. Въ петрографическомъ отноше-
ніи они представляютъ гравельно-конгломератовныя образованія;
хаотическаго сложения изъ элементовъ, распределенныхъ безъ
всякой сортировки по величинѣ, безъ всякаго слѣда слоисто-
сти; отдѣльныя глыбы обыкновенно нѣсколько округлены; это
отложения изъ матеріала, перенесеннаго на сухо (*à sec*), нѣм-
но они и отличаются отъ отложений, образованныхъ водными пу-
темъ (*par voie aqueuse*). Нерѣдки и смѣшанныя отложения
обоихъ типовъ.

Факты, описанные Дякоуа, показываютъ, что иногда условія,
въ которыхъ происходитъ изверженіе, имѣютъ болѣе значе-
ніе на проявленіе вулканизма, чѣмъ химическій составъ маг-
мы. Обыкновенно, напр., считали, что основными магматъ бо-
лѣе свойственно давать потоки лавы (напр. на Гавайи), а
кислые магмы болѣе свойственно проявляться въ видѣ мощ-
ныхъ рыхлыхъ отложений. Въ дѣйствительности же болѣе осно-
вная магма *La Soufrière* обнаруживала только явленія взри-
вовъ, сопровождавшихся колоссальными изверженіями рыхлыхъ
продуктовъ, а болѣе кислая магма *M. Pelée* имѣла также излія-
ніе лавы въ видѣ извѣстнаго намъ купола. Образованіе его

зависѣло не столько отъ состава магмы, сколько отъ физическихъ условій ея выхода на дневную поверхность, именно отъ медленнаго подъема и небольшими количествами. Эти условія опредѣляли довольно быстрое охлажденіе, что позволило магмѣ достигнуть значительной вязкости. Съ другой стороны, газообразные продукты выделялись въ болѣе значительныхъ количествахъ только периодически, и магма, вслѣдствіе ея вязкости не разливавшаяся около устья выводного канала, могла отвердѣвать въ видѣ непрерывно нарастающей массы. Болѣе значительная часть древняго конуса *M. Pelé* сложена изъ туфовъ и брекчій той же породы, что и современная лава; они были отложены пароксизмами исключительно въ видѣ взрывовъ, когда газообразныхъ продуктовъ было значительно больше, чѣмъ при современныхъ изверженіяхъ, и притомъ выделявшихся настолько непрерывно, что изверженная матерія не могла сохраниться тамъ, гдѣ она затвердѣвала. Присутствіе недалеко отъ *M. Pelé* настоящихъ древнихъ потоковъ лавы той же породы можно объяснить быстрымъ выдѣленіемъ лавы при очень высокой температурѣ; вслѣдствіе большей жидкостности чѣмъ въ предшествующемъ случаѣ, газы выделялись свободно, не расходуя свою живую силу на разрушеніе отвердѣвшаго покрова, постоянно возобновлявшагося. Лякруа думаетъ, что можно ожидать встрѣтить гдѣ либо и купола, подобные куполу *Mont Pelé*, но образованные породами основной магмы, хотя вообще такая магма менѣе благоприятна для такого рода образованій. Явленія раскаленныхъ облаковъ происходили безразлично и на многихъ лавахъ *M. Pelé* и болѣе основныхъ *La Soufrière*; явле-

ніе не було связано съ опредѣленими хімічеськимъ составомъ а только съ фізичеськимъ состояніемъ расплавленной матеріи. Теперь можно считать очень вѣроятнымъ, что двѣ катастрофы на одномъ изъ острововъ Азорскихъ (*San Jorge*) въ 1580 и 1808.г.г. сопровождались явленіемъ раскаленныхъ облаковъ при изліяніи базальта, т.е. очень основной породы.

Всѣ эти наблюденія подтверждаютъ старое мнѣніе Вишофа, что характеръ выдѣленія газовъ зависитъ не отъ хіміческаго состава магмы, а отъ степени ея жидкостности, что въ свою очередь зависитъ отъ температуры.

М Е Т А М О Р Ф И З М Ъ .

Чтобы назвать породу метаморфизованной, мы должны доказать въ ней или отчетливые слѣды ея прежняго неизмѣненнаго состоянія, или такіе признаки во внутреннемъ ея составѣ и структурѣ, которыя указываютъ вполне опредѣленнаго измѣненія породы, или же мы должны доказать тождественность данной породы съ другими, историч. метаморфическая природа достаточно установлена.

До извѣстной степени всѣ горныя породы метаморфизованы, такъ какъ всѣ онѣ отвердѣли подъ вліяніемъ давленія налегающихъ породъ, или измѣнены дѣйствіемъ просачивающейся воды, или дѣйствіемъ какого либо другого агента. Кристаллическія породы почти всѣ обнаруживаютъ подъ микроскопомъ извѣстную степень измѣненія отдельныхъ составныхъ частей; такому измѣненію можетъ подвергнуться и вся структура породы, напр. въ діабазѣхъ, базальтахъ, андезитахъ. Но такіе измѣненія подъ вліяніемъ процесса вывѣтриванія мы не

називаємь метаморфізмомъ. Подъ этимъ терминомъ понимаютъ только такіа зміненія въ мінералогическомъ, или химическомъ составѣ, или въ структурѣ, которыя вызваны на нѣкоторой глубинѣ или мѣстно вліяніємъ изверженной массы, вообще матеріала високой температури, или регионально дѣйствіємъ механическихъ причинъ въ сочетаніи съ вліяніємъ тепла и нагрѣтой воды или водяного пара.

Понимаемый такимъ образомъ метаморфізмъ, или зміненіе горныхъ породъ, можетъ быти троякаго рода: 1) результаты високой температури, 2) результаты високой температури въ связи съ вліяніємъ перегрѣтой воды и газозъ, 3) результаты вліянія давленія, растяженія и разлома. Факторы третьей категоріи, виражающіеся въ сейсмическихъ явленіяхъ, вѣковыхъ колебаніяхъ и горообразовательныхъ движеніяхъ, въ своемъ порядкѣ разсматриваются какъ слѣдствіе непрерывнаго охлажденія земного шара и связаннаго съ нимъ сокращенія его объема.

Слѣдовательно, подъ терминомъ метаморфізмъ слѣдуетъ понимать совокупность зміненій горныхъ породъ подъ вліяніемъ (геогеновыхъ причинъ или) вулканизма въ широкомъ значеніи этого понятія. Отсюда вытекаетъ коренное различіе метаморфізма отъ діагенезиса, т.е. физическихъ и химическихъ зміненій, превращающихъ отложеніе въ горную породу независимо отъ геногеновыхъ причинъ, а отъ внѣшнихъ причинъ, т.е. зміненія горныхъ породъ подъ вліяніемъ агентовъ внѣшней геодинамики.

Метаморфізмъ можетъ выразиться: 1) въ зміненіи сложенія

Листъ 15-й. Лекція по геологіи: *К. Богдановичъ*

т.е. въ молекулярномъ преобразованіи; напр. отвердѣніе, об-
жирѣ, и т.д. горныхъ породъ. 2) въ измѣненіи формы минера-
льного вещества, напр. въ параморфическихъ измѣненіяхъ, т.е.
въ псевдоморфизаціи безъ измѣненія химическаго характера
минерала (напр. измѣненіе асбестовой породы въ роговообман-
ковую) или въ измѣненіи клаотического сложенія въ кристал-
лическое (путемъ кристаллизаціи составныхъ частей породы);
3) въ измѣненіи вещественнаго состава, путемъ отнятія или
приисоединенія какихъ нибудь ингредиентов (напр. въ контак-
тахъ около штоковъ).

Различныя названія прилагаются для выраженія метаморфиче-
скихъ измѣненій. М е т а з о м а т и з м ъ, *Metathylosis*
и м е т а х и м и з м ъ — для выраженія химическаго мета-
морфизма, или измѣненія въ вещественномъ составѣ.

М е т а с т а з и с ъ — для измѣненій параморфическаго ка-
рактера.

М е т а к р а з и с ъ — для такихъ измѣненій, какъ превра-
щеніе изливотой массы въ сланецъ, кварцъ, или друг. силикаты.

М а к р о с т р у к т у р н ы й — для выраженія измѣненія
въ вѣдней структурѣ (морфологической), напр. землиотой въ
пламцеватую.

М и к р о с т р у к т у р н ы й — для измѣненія внутренней
структуры (гистологической) все равно съ макроструктурными
измѣненіемъ или безъ него.

М и н е р а л о г и ч е с к і й — для измѣненій одной или
нѣсколькихъ составныхъ частей, все равно безъ или съ измѣ-
неніемъ химическаго состава породы, какъ цѣлаго.

Съ точки зрѣнія дѣйствующихъ причинъ различали: д и с -
л о к а ц і о н н ы й (по *Losberry*), м е х а н и ч е с к і й
(Гейнъ и Вальтцеръ), т р е н і я (*Friction met.*, по *Chamberlain*)
д и н а м и ч е с к і й (Розенбушъ), н а п о р а (*Knapping-
met* или *Stammsmet* Гамбеля и Креднера), д а в л е н і я (*Barney*)
Словомъ, подъ метаморфизмомъ понимаютъ тотъ отдѣлъ динами-
ческой геологіи, который изслѣдуетъ перераспредѣленіе со-
ставныхъ частей породы и возникновеніе при этомъ новообра-
зованій. Дѣйствующими факторами при этомъ могутъ быть: ^{24. ca} 1) и
1) температура отъ самой низкой, при которой возможно осу-
ществленіе такихъ измѣненій, до точки плавленія породы. 2)
2) Давленіе, какъ условіе, усиливающее дѣйствіе тепла. 3) и
3) Механическое движеніе, вызывающее перергруппировку час-
тицъ въ породѣ. 4)
4) вода, занимающая въ растворѣ извѣстныя вещества и вызы-
вающая измѣненія, невозможныя въ сухомъ видѣ.
5) природа самаго матеріала: одинъ матеріалъ болѣе подвер-
женъ измѣненіямъ, чѣмъ другой.

Эти условія въ различныхъ случаяхъ могутъ усложняться :
1) дѣйствіемъ нагрѣтой подземной воды, заключающей въ рас-
творѣ угольную кислоту и друг. минеральныя вещества, часто
подъ высокимъ давленіемъ; 2) дѣйствіемъ горячихъ паровъ и
газовъ; 3) механическимъ давленіемъ въ сочетаніи съ высо-
кой температурой, но безъ внутренняго движенія или дефор-
маціи; такое давленіе и температура могутъ быть громад-
ны на большихъ глубинахъ; 4) механическими движеніями, въ осо-
бенности тѣми, которыя выражаются въ раздробленіи породъ

и смѣщеніи одѣлъ ея частей относительно другихъ: 5) интрузіей раскаленныхъ изверженныхъ породъ, заключающихъ большія количества абсорбированной воды, паровъ, газовъ; 6) случайно и только мѣстно горѣніемъ слоевъ угля.

Многое зависитъ, очевидно, отъ условій температуры и давленія, въ которыхъ находится порода. Г а р к е р ъ указываетъ четыре случая такихъ возможныхъ отношеній: 1) низкія температура и давленіе (г и д р о - м е т а м о р ф и з м ъ); 2) высокая температура и низкое давленіе (т е р м о - м е т а м о р ф и з м ъ); 3) низкая температура и высокое давленіе (д и н а м о м е т а м о р ф и з м ъ); 4) высокая температура и высокое давленіе (п л у т о н о - м е т а м о р ф и з м ъ).

Терминъ метаморфизмъ былъ предложенъ первоначально Ляй-элеми въ примѣненіи къ сланцеватой или листоватой структурѣ, какъ измѣненію первоначальной слоистости. Затѣмъ только много лѣтъ спустя, первый Л о с с е н ъ доказалъ, что не только породы воднаго происхожденія, но и огненнаго подвержены не меньшимъ измѣненіямъ; различное сочетаніе минераловъ, химическій составъ и структура породъ даютъ возможность устанавливать, такъ сказать, послѣдовательныя, т.е. мутаціонныя измѣненія горныхъ породъ.

Часто трудно, даже невозможно опредѣлить, какимъ частнымъ сочетаніемъ условій метаморфизма какой нибудь группы произошло данное измѣненіе: было ли болѣе активно давленіе, или давленіе въ связи съ раздробленіемъ, или въ связи съ высокой температурой, или всѣ эти факторы въ со-

четанні съ дѣйствиємъ воды и минерализующихъ агентовъ принимали участіе въ измѣненіи породъ.

Ради систематизаціи необходимо придерживаться известной классификаціи этихъ явленій.

Давно уже въ этомъ отношеніи установлены двѣ группы метаморфическихъ измѣненій: 1) К о н т а к т о в ы й, гдѣ измѣненіе породъ происходило вслѣдствіе соприкосновенія или приближенія къ изверженному матеріалу и 2) Р е г і о н а л ь н ы й, когда нельзя приписать измѣненія такой мѣстной причинѣ, а болѣе общей, каковы условія давленія, температуры, механическаго движенія, присутствіе воды и минерализующихъ агентовъ. Такое раздѣленіе предмета не можетъ быть сдѣлано всегда вполне удовлетворительно, хотя именно въ регіональномъ максимумѣ измѣненій часто достигается такой степени, до которой измѣненія при контактовомъ метаморфизмѣ едва ли доходятъ. Такого раздѣленія приходится придерживаться, пока наши познанія въ этой области не сдѣлаются болѣе глубокими, чѣмъ теперь.

1) К о н т а к т о в ы й м е т а м о р ф и з м ъ .

Этотъ родъ измѣненій зависитъ отъ двухъ группъ основныхъ условій: 1) природы, массы, температуры и состава изверженной породы и 2) состава и структура породъ, черезъ которую изверженная интрузируется, и присутствія или отсутствія въ ней воды.

Въ отношеніи перваго условія очевидно, что обширная интрузія вызываетъ болѣшія измѣненія, чѣмъ малая той же породы. Такъ называемая ареоля метаморфизма (поясъ) около крупныхъ

штоковъ гранита или діорита шире и самый метаморфизмъ интенсивнѣе, чѣмъ около нихъ. Составъ изверженной породы является очень важнымъ факторомъ. Значительное различіе обнаруживается въ характерѣ и суммѣ измѣненій около болѣе основныхъ и болѣе кислыхъ породъ. Червня, какъ базальтъ, обладаютъ такой степенью жидкостности, что способны проникать во всѣ трещины боковыхъ породъ и захватывать ея отломки, которые отвердѣваютъ или даже сплавляются, но не обнаруживаютъ при этомъ значительнаго химическаго измѣненія. Базальтъ вызываетъ скорѣе явленіе сухого плавленія и только незначительную сумму химическихъ измѣненій. Болѣе кислая порода, какъ трахитъ, фонолитъ, ріолитъ имѣетъ вязкую консистенцію, не могутъ проникать такъ тѣсно въ породу, съ которою соприкасаются, и не сплавляютъ ее, хотя имѣетъ температуру значительно болѣе высокую, чѣмъ основныя лавы. Но лавы, которыя богаче насыщенны эти типы лавъ, вызываютъ болѣе разнообразныя химическія измѣненія (по Ляйрусу). Гранитъ не вызываетъ явныхъ явленій плавленія въ соприкасающихся породахъ, даже включенныхъ въ него, хотя онъ можетъ ихъ абсорбировать болѣе или менѣе сильно, но около него давно уже замѣченъ болѣе совершенныя измѣненія породъ, чѣмъ около какихъ либо другихъ интрузивныхъ толщъ, и эти измѣненія прослѣживаются на миль и больше отъ линій контакта.

Въ этихъ случаяхъ высокая степень измѣненія происходитъ на счетъ такихъ агентовъ, какъ вода, щелочные силикаты, хлориды, фтористыя соединенія и другіе газы или растворы, которые гораздо болѣе дѣятельны въ сочетаніи съ высокимъ

давленіємъ и какъ слѣдствіе отода въ сочетаніи съ болѣе продолжительнымъ временемъ дѣйствія.

Что касается группы вторыхъ указанныхъ условій (природа и структура измѣняемыхъ породъ), то очевидно, что такіе различные матеріалы, какъ сланцы, песчаники, уголь, изве-отняки обнаруживаютъ очень различные результаты при воз-дѣйствіи той же метаморфизирующей энергіи. Присутствіе зна-чительнаго количества ^{воды} въ порахъ породы также усиливаетъ напряженность и характеръ метаморфизма. Порода, которая совершенно суха, обнаруживаетъ слабое измѣненіе или даже никакихъ; наоборотъ, присутствіе воды вызываетъ химиче-скія реакціи и переищженіе минеральныхъ веществъ. Также играетъ большую роль отношеніе между изверженной породой и слоистой ^{или} пересѣкаемой. Теплоота передается по простира-нію въ четыре раза скорѣе, чѣмъ вкрестъ; слѣдовательно, интрузивная залежь вызываетъ болѣе слабое измѣненіе, чѣмъ штокъ, пересѣкающій обитую слоевъ вкрестъ простира-нія. Конечно, также ясно, что части породъ, совершенно за-ключенныя въ изверженную массу, подвергаются измѣненіямъ въ болѣе высокой степени, чѣмъ только периферическія час-ти породъ, подвергающихся вліянію извѣстныхъ факторовъ, только съ одной стороны.

Примѣрами простого контактоваго метаморфизма въ порядкѣ все возростающей степени, служатъ:

- 1) обезивѣчиваніе породъ и размягченіе ихъ (превращеніе лавы въ бѣлую глину отъ дѣйствія пара).
- 2) окраска боковыхъ породъ въ красный, кирпично бурый

півіть (сланци, песчаники);

3) разрихленіє порода, (гранить и гнейсь въ Оверни въ соприкосновеніи съ базальтами);

4) отвердѣніє ихъ болѣе часто, чѣмъ предидущій случай (яшми);

5) столбчатая отдѣльность (т.1 стр. 499 ф.563)

6) Видѣленіє води и влажности кристаллизационной (опытъ Армана Готье)

7) обжигъ и плавленіє порода, окислованіє ископаемыхъ углей (стр. 500 и 498);

8) превращеніє известняка въ мраморъ (стр. 499 ф. 564).

Гораздо сложнѣе контактовые явленія, когда дѣйствующимъ факторомъ являются горячіе растворы, богатые минерализаторами. (Марморизація есть примѣръ дѣйствія горячаго раствора безъ минерализаторовъ: все явленіє ограничивается перекристаллизацией вещества окружающей породы. Характеръ новыхъ минераловъ не зависитъ при этомъ отъ природы дѣйствующей массы. Иное, если дѣйствуетъ растворъ съ минерализаторомъ). Возникають минералы, которые по своему происхожденію относятся къ явленіямъ дѣятельности фумароль глубинныхъ порода. Эта дѣятельность называется п и е у м а т о л и з о м ъ. Поясъ контактовъ при отвердѣваніи изверженныхъ порода служитъ средоточіемъ разнообразныхъ послѣдствій вулканическихъ процессовъ, ведущихъ къ разложенію и измѣненію прежнихъ минераловъ и образованію новыхъ. Здѣсь образуются псевдоморфозы и вторичные минералы. (змѣеникъ, талькъ, хлоритъ, серицитъ, каолинъ) и нерѣдко

здѣсь же образуются рудные минералы.

Къ такимъ процессамъ относятся :

1) Освѣтленіе, обезцвѣчиваніе породъ и уменьшеніе ихъ твердости.

2) Пропилитизація - превращеніе роговой обманки и біотита въ хлоритъ, плагіоклаза въ эпидотъ.

Эти два явленія представляютъ слѣдствіе простаго растворенія составныхъ частей породъ.

3) Серицитизація, озмѣвкованіе, каолинизація, какъ слѣдствіе болѣе сложныхъ химическихъ явленій.

4) Соосеритизація - молекулярное замѣненіе полевого шпата.

5) Турмалинизація } какъ слѣдствіе отдѣленія но-

6) образованіе грейзена, } вныхъ составныхъ частей около
кислыхъ породъ и образованіе -

7) апатита (хлоръ) , около основныхъ породъ.

8) Оталькованіе и цеолитизація, кремниженіе и доломитизація, какъ слѣдствіе обмѣннаго разложенія;

Все эти явленія обнимаютъ такъ называемый послѣвулканический метаморфизмъ, ведущій къ такъ называемому разложенію горныхъ породъ, которое существенно отличается отъ выветриванія мѣстной локализацией явленія около определенныхъ толщ изверженной породы. Наоборотъ, региональность явленій выветриванія, какъ слѣдствіе зависимости отъ климатическихъ факторовъ, служитъ ихъ отличительнымъ признакомъ.

Э н д о г е н н ы й м е т а м о р ф и з мъ - есть явленіе

неніе самихъ изверженныхъ породъ подъ вліянніемъ окружающихъ, проявляющееся въ структурѣ и составѣ ихъ. Напр., подъ вліянніемъ карбонатныхъ породъ на базальтъ и діабазъ, они превращаются въ бѣлый тропъ, рыхлый, ломкій, теряющій иногда кристаллическое сложеніе и переходящій въ глинну. Таково же вліянiе включеній: оно сильнѣе обнаруживается въ породахъ основныхъ, нерѣдко измѣненіемъ въ химическомъ составѣ. Введеніе въ изверженную породу посторонняго матеріала ведетъ къ образованію новыхъ минераловъ, напр. циркона, сафира.

Р а з л и с т о в а н і е. Наиболее крайней формой контактового метаморфизма являются случаи, когда не только обнаруживается новообразование минераловъ, но даже измѣненіе сложенія, структуры породы въ ея пълнотѣ; такое измѣненіе сопровождается въ то же время такимъ полнымъ переслаиваніемъ изверженной породы, и метаморфизуемой, что граница между ними исчезаетъ. Наиболее полно этотъ процессъ обнаруживается въ контактахъ гранита, именно гранитизація сланцевъ, *lit par lit*, какъ это было рассмотрѣно раньше. Въ некоторыхъ случаяхъ трудно рѣшить, гдѣ же плоскости сланцеватости, кривая или другія, раньше существовавшія и опредѣлившія видѣреніе изверженнаго матеріала. Возникаетъ вопросъ, не возникли ли новыя плоскости соответственно вліанію изверженной массы.

При пересѣченіи потокомъ изверженной породы ряда слоевъ вкрьсть простиранія, разлистование располагается параллельно поверхности потока и вкрьсть первичнымъ плоскост-

тязь осадочної породи. Зайсь теряється граница между контактовыми и региональным метаморфизмом. (См. также "Можно объяснить это явление механическим раздроблением пород около Штока, и возникновением тонких плоскостей разлома, вдоль которых и происходило разлистование, сопровождавшееся влиянием минерализующих агентов. Можно предполагать, что кристаллизация изверженной породы происходит при условии давления при горообразовательных процессах" (пиезокристаллизация Вейншенка.) Но и без введения механических причин можно объяснить это явление последовательным проникновением минерализующих агентов в окружающую породу и отложением новых веществ по линиям и зонам параллельно периферии изверженной массы. Можно предполагать также, что сама магма последовательно проникала в осадочную породу, абсорбируя ее, и что затем при ее охлаждении и кристаллизации магма давала отделение вдоль последовательных зон параллельно поверхности охлаждающей массы.

Подобные явления известны около гранитных штоков в Корваллисе среди девонских и каменноугольных слоев, превращенных в слюдяные сланцы и гнейсы; также в Вогезах; около Христіаніна: (Стр. 501; ф. 568/.

Можно сказать, что интенсивность контактового метаморфизма ослабляется пропорционально возрастанию основности пород: диориты слабее гранитов, диабазы - слабее диоритов.

Около диабазов (Гардъ) интересны изменения граувака и

глинистых сланцевъ въ роговики и различные сланцы - пятнистый, спилоситъ, и др. Известняки даютъ около изверженныхъ породъ зону съ известковыми силикатами - диопсидъ, сапфиръ, гранаты, представляющими типичные, такъ называемые контактные минералы (Шиткаранта).

Р е г і о н а л ь н ы й м е т а м о р ф и з м ь .

Отъ явленія метаморфизма около штоковъ изверженныхъ породъ мы перейдемъ теперь къ рассмотрѣнію случаевъ, гдѣ метаморфизмъ произошелъ безъ яснаго вѣдѣтельнаго изверженного матеріала. Очевидно, что во многихъ областяхъ изверженныхъ породъ онѣ не обнаруживаются на поверхности, находясь подъ нею на небольшой глубинѣ, и явленія, которыя мы отнесемъ въ этомъ случаѣ къ региональному метаморфизму, въ дѣйствительности могутъ быть контактового характера. Трудность рѣшенія вопроса уменьшается по мѣрѣ увеличенія площади, на которой нѣтъ ясныхъ слѣдовъ изверженныхъ породъ. (Во всякомъ случаѣ можно считать метаморфизованными только такія породы, которыя переходятъ въ другія нормальные, или теперешній характеръ которыхъ доказываетъ, что онѣ произошли измѣненіемъ какой нибудь осадочной или изверженной породы въ условіяхъ, исключавшихъ вліяніе какой нибудь изверженной породы. При изученіи въ какой нибудь опредѣленной области этого труднаго, но глубоко интереснаго вопроса геологівъ, слѣдуетъ начинать изслѣдованіе отъ породъ съ наиболее слабыми слѣдами измѣненія и послѣдовательно переходить къ обнаруживающимъ болѣе высокія степени метаморфизма, пока мы не достигнемъ по-

родь совершенно кристаллически сланцеватыхъ.

Породы слабо измѣненныя имѣютъ наибольшее значеніе, такъ какъ ихъ первичная природа и доказательства несомнѣнныхъ измѣненій могутъ быть установлены съ достаточной точностью. Наибольшій интересъ и представляють такія области, гдѣ ясно могутъ быть прослѣжены все ступени перехода между неизмѣненными осадочными или массивно-кристаллическими, и измѣненными породами.

Извержения породъ во вѣдѣніе опредѣленности ихъ первичной структуры и состава представляють большую легкость для установленія природы и разбора измѣненій метаморфического характера въ какой-нибудь цѣлой области или въ серіи породъ.

Какъ и въ случаѣ контактоваго метаморфизма, степень и характеръ региональнаго зависятъ прежде всего отъ первичной природы измѣняемыхъ породъ и затѣмъ отъ энергіи метаморфическихъ процессовъ.

(Нѣкоторыя породы упорно сопротивляются измѣненіямъ. Чистые кварцевые песчаники, напр. становятся кварцитами, но дальше этого измѣненіе не идетъ; хотя какъ исключеніе ихъ частицы перегруппировываются въ состояніе сланцеватости. Въ породахъ же съ полевошпатовыми элементами въ особенности если эти элементы играютъ главную роль, сланцы остаются почти неизмѣненными, а другіе новыя минералы и структура развиваются въ прогрессивно возрастающей степени. Такое измѣненіе вообще достигаетъ предѣла въ появленіи нѣкоторыхъ формъ кристаллическихъ сланцевъ.

К р и с т а л л и ч е с к і е с л а н ц и . Наиболее отличительной чертой такъ называемыхъ кристаллическихъ сланцевъ служить ихъ листоватое сложеніе, или сланцеватость.

Они имѣютъ болѣе или менѣе ясно выраженный кристаллическій характеръ, но иногда они обнаруживаютъ и слѣды или даже ясные признаки первичной обломочной породы. Ихъ сланцевая структура изменяется отъ массивнаго или гранитнаго типа въ грубо-зернистомъ гнейсѣ до чрезвычайно тонкаго распредѣленія элементовъ въ тончайшихъ тальковыхъ или слдяныхъ сланцахъ. Ихъ обликъ въ то же время отличается поразительнымъ разнообразіемъ: одна порода, гнейсъ или слдяный сланецъ покрываетъ часто обширныя пространства.

Въ другихъ случаяхъ кристаллическіе сланцы представляютъ быструю смѣну различныхъ сланцеватыхъ породъ - гвейса, слдяного сланца, глинистаго сланца, актинолитоваго, и др. разнообразныхъ видовъ. Чечевичеобразныя массы кристаллическаго известняка или мрамора и доломита, обычно съ нѣкоторыми минералами, какъ слюда, гранаты, тремолитъ, актинолитъ, антофилитъ, доизитъ, везувіанъ, пироксенъ, графитъ часто появляются въ областяхъ развитія кристаллическихъ сланцевъ въ особенности, гдѣ послѣдніе заключаютъ полосы жѣзвика или другихъ магнезіальныхъ силикатовъ.

Мощные неправильные пояса магнетита, гематита и агрегаты роговой обманки, пироксена или оливиновыхъ минераловъ часто появляются среди гнейсовъ. Другой отличительной чертой кристаллическихъ сланцевъ является ихъ обычная интенсивная изогнутость и складчатость. (Тонкія своеобразныя по-

лоси такихъ сланцевъ, образованія кажда различными ми-
нералами. Часто собраны въ тончайшія складки и морщины,
вообще толстыя полосы могутъ быть прослѣжены въ интенсив-
ныхъ складкахъ вдоль любого скалистого обнаруженія этихъ
породъ. Внутреннее движеніе массы такихъ породъ было
столь напряженнымъ, что верѣдко нельзя прослѣдить поря-
докъ послѣдовательности и мощности отдѣльныхъ полосъ, тѣмъ
болѣе, что нельзя и полагаться на такую полосчатость въ
кристаллическихъ сланцахъ, какъ на указаніе дѣйствитель-
ной послѣдовательности отлагавшихся массъ. Иногда можно
видѣть, что чѣмъ болѣе кристаллическіе сланцы изогнуты и
складчаты, тѣмъ отчетливѣе выражена и ихъ кристалличес-
кая структура. Наконецъ особенно характерной чертой кри-
сталлическихъ сланцевъ служить ихъ обычная ассоціація съ
штоками и жилами или слоеобразными залежами гранита, сіе-
нита, кварцеваго порфіра, діорита, габбро, діабазы, или
другихъ массивныхъ породъ. (Въ нѣкоторыхъ областяхъ кри-
сталлическихъ сланцевъ дѣйствительно столь обильны
гранитовыя и пегматитовыя массы и столь грубо-зернисты
или гранитовидны сами сланцы, что невозможно провести
удовлетворительно границу между этими типами породъ, и
въ нѣкоторыхъ случаяхъ онѣ могутъ представлять различныя
формы того же матеріала, а въ другихъ могутъ представятъ
случаи гранитизаціи (юго-восточная Финляндія).
Бреди геологовъ до сихъ поръ распространено мнѣніе, что
основнымъ условіемъ для воспроизведенія интенсивнаго ми-
нералогическаго измѣненія породъ является нарушеніе ихъ

земной корѣ, выражающееся въ сжатіи, раздробленіи, разломахъ и вытягиваніи массъ горныхъ породъ.

Сжатіе, какъ извѣстно, можетъ вызвать такъ называемый кливажъ, т.е. плоскости сланцеватости, не совпадающія съ плоскостями наслоенія и по которымъ порода получаетъ особенную способность раскалываться.

Динамическая теорія региональнаго метаморфизма. Явленіе кливажа часто сопровождается или за нимъ слѣдуетъ внутреннее измѣненіе породы. Химическія реакціи, возникающія при этомъ, и даютъ новыя минералы. Эффектъ давленія и движенія подъ болѣе широкимъ напряженіемъ, какъ явленія возбуждающія химическую дѣятельность, нельзя не признавать. Не только первичныя минералы при этомъ перегруппировываются своими длинными осями перпендикулярно къ направленію давленія, но и вторичныя минералы развиваются вдоль тѣхъ же линій, и въ результатъ можетъ обнаружиться ясная сланцеватая структура въ первично безструктурной породѣ.

Еще болѣе ясныя измѣненія наблюдаются тамъ, гдѣ породы подвергаются усиліямъ смѣвающимъ (*Shearing* - скалываніе), которыя вызываютъ дѣйствительныя разрывы, при чемъ порода

раздробляется, сдвигается и вытягивается. При такого рода движеніяхъ мы видимъ, какъ перемѣщаются впередъ ломтики за ломтикомъ породы, одинъ поверхъ другого, какъ такіе скопленія ломтиковъ перемѣщаются поверхъ другихъ такимъ образомъ, что это расположеніе повторяется снова и снова не только въ крупномъ масштабѣ въ чешуйчатомъ стро-

(*Schuppenstruktur*) дѣляхъ горныхъ массъ, но также и въ такомъ мелкомъ масштабѣ, что такіе разломы и морщины могутъ быть различены только подъ микроскопомъ (Геймъ).

Такія динамическія движенія не могутъ не сопровождаться широкими и отчетливыми химическими перегруппировками въ веществахъ породъ. Вдоль концовъ сдвиговъ или плоскостей движенія, гдѣ за сдвигомъ слѣдуетъ разрывъ, части породъ истираются одна около другой; раздробленный матеріалъ принимаетъ листоватую структуру, при которой отдѣльные листы располагаются параллельно плоскостямъ движенія. Такая листоватая оторочка (*selvages*) въ сочетаніи съ новыми минералами постепенно переходитъ въ безструктурную массу или только слабо раздробленную. Въ этихъ мѣстахъ скопленія серицита, біотита, хлорита или другихъ вторичныхъ минераловъ, располагающихся по направлению плоскостей кливажа, показываютъ направленіе движенія и дѣйствительнаго проявленія химическихъ преобразованій. Въ массѣ породъ, подвергавшейся такимъ напряженіямъ, послѣдующее равновѣсіе достигается разрывами и раздробленіемъ вдоль извѣстныхъ плоскостей въ сочетаніи съ развитіемъ вторичныхъ минераловъ вдоль такихъ плоскостей, и въ результатѣ получается плоское или сланцеватое сложеніе въ породахъ, бывшей первоначально однородной.

Признавая даже весьма могущественное участіе механической деформации въ образованіи характерныхъ структуръ многихъ сланцеватыхъ породъ, отнюдь не слѣдуетъ преувеличивать значеніе этого фактора, который нѣкоторые геологи

пользуется для разрѣшенія такихъ вопросовъ, которые кажутся безъ нихъ неразрѣшимыми. Теперь мы не сомнѣваемся, что теорія механической деформации часто применялась слишкомъ свободно и прилагалась къ объясненію напр. нѣкоторыхъ структуръ, которая съ большимъ основаніемъ можно объяснить иначе. Напр. замѣчаемое въ грубо-зернистыхъ гнейсахъ обособленіе такихъ минераловъ, какъ кварцъ, полевой шпатъ, роговая обманка, пироксенъ, магнетитъ и т.д. болѣе или менѣе параллельными чечевицеобразными полосками представляетъ структуру, аналогичная которой можетъ быть указана въ полосатости изверженныхъ массъ, габбро и другихъ породъ, гдѣ такое чередованіе разнороднаго матеріала представляетъ первичное явленіе и происходитъ отъ одновременной интрузіи разнороднаго матеріала. Эффектъ послѣдующей механической деформации и кристаллической перегруппировки можетъ иногда частично или пѣликомъ видоизмѣнить первичную полосатость послѣдующей сланцеватостью



Ф. 16. Гнейсъ съ полосатостью, видоизмѣненный развитіемъ тонкой сланцеватости (кливажа).

Тѣмъ не менѣе, если отбросить крайности этой механической теоріи, мы должны пока остановиться на ней, такъ какъ мы имѣемъ достаточно ясныя доказательства вліянія механическихъ движеній на возникновеніе региональнаго метаморфизма.

Часто можно открыть части первичной структуры породъ и

сильдовательно показать, что порода принадлежит къ какому нибудь опредѣленному типу осадочныхъ или изверженныхъ породъ.

При раздробленіи обширныхъ массъ породъ во время мощныхъ движеній иногда сохраняются въ первичномъ состояніи чечевицеобразныя ядра породы. Вокругъ такихъ ядеръ расплюснутый матеріалъ другихъ частей породы приходитъ въ состояніе теченія (*flow*), вызывая расположеніе элементовъ, подобное флюидаальной структурѣ около вкрапленниковъ при порфировой структурѣ. Могутъ быть прослѣжены всѣ переходы отъ такихъ ядеръ, становящихся постепенно меньше, до породы изъ окончательно преобразованнаго матеріала. /Что эта структура не первична, а произведена послѣ отвердѣнія породъ, можетъ быть доказано. Для осадочныхъ образований это подтверждается напр. удлиненіемъ и расплюснутіемъ галекъ въ конгломератахъ и переходами отъ песчанниковъ или грауваккъ до сланцеватой массы. Для изверженныхъ породъ раздавливаніе первичныхъ матеріаловъ и ихъ трансформация въ другіе, характерные для сланцевыхъ породъ, служить простымъ доказательствомъ, также ^{или} сохраненіе первичной структуры (реликтовая структура).

При колоссальныхъ перемѣщеніяхъ въ земной корѣ горныя породы испытываютъ такое давленіе, что даже наиболѣе твердые и массивные матеріалы смѣщаются, и составляющіе ихъ минералы перемѣщаются одинъ по другому, давая флюидаальную структуру, подобную искусственно получаемой въ металлахъ и другихъ твердыхъ тѣлахъ.

Но здѣсь возникаетъ вопросъ, представляетъ ли это движеніе молекулярное измѣненіе безъ разрыва сплошности составляющихъ минераловъ, или съ разрывомъ? Микроскопическія изслѣдованія показываютъ, что по крайней мѣрѣ какъ общее правило, минералы въ наиболѣе совершенно согнутыхъ и раздавленныхъ породахъ - разломаны. Наблюдается, что подъ вліяніемъ механическаго напряженія минералы сначала подвергаются разлистованію и образованію двойниковъ вдоль опредѣленныхъ плоскостей. Эта структура возростаетъ съ усиленіемъ напряженія до тѣхъ поръ, пока эти минералы, напр. полевой шпатъ, сохраняютъ ихъ связность, но какъ только предѣлъ упругости достигнутъ, они разламываются и раздѣляются на обломки, которые, если напряженность движенія не возростаетъ, цементируются вторичными образованіями того же или другого минерала, заполняющими пространство между обломками. Но если напряжение продолжаетъ возростать, минералы могутъ быть дѣлкомъ расплывы и возникаетъ тонкая зернистая (милонитовая) структура или мозаика зеренъ, которая подъ вліяніемъ продолжающагося смѣщенія можетъ развиваться въ полосовое распредѣленіе, какъ флидальное сложеніе в сланцеватость. (см. Lehman).

Однимъ изъ наиболѣе важныхъ слѣдствій этой механической деформации и расплыва является сильное возбужденіе химическихъ реакцій. Онѣ происходятъ подъ громаднымъ давленіемъ при болѣе или менѣе повышенной температурѣ и въ присутствіи по крайней мѣрѣ той воды, которая уже

заклещается въ породѣ.

(Давленіе и температура могутъ быть такъ постоянны и такъ велики, и перекристаллизація ингредиентов породы въ новыя сочетанія происходитъ столь совершенно въ такихъ случаяхъ, что возникающія структуры совершенно маскируютъ механическую деформацию, которая имъ предшествовала или сопровождала ихъ. Механическая деформация обнаруживается только микроскопическимъ изслѣдованіемъ такихъ структуръ метаморфизованныхъ породъ. Многія химическія перегруппировки несомнѣнно могутъ имѣть мѣсто и безъ механическихъ напряженій, но ни одно изъ такихъ напряженій не вызываетъ метаморфизаціи, если оно не сопровождается химическимъ и минералогическимъ перегруппировками.

Минералогическое измѣненіе, наблюдаемое при региональномъ метаморфизмѣ можетъ состоять (по Williams⁷) въ:

- 1) въ разломѣ одной молекулы въ двѣ и болѣе съ малымъ перемѣщеніемъ вещества, какъ при образованіи соскорита изъ лабрадора; 2) въ реакціи между двумя смежными минералами, изъ которыхъ каждый идетъ на образованіе части вещества, необходимаго для возникновенія новаго образованія промежуточнаго состава, болѣе прочнаго для наступившихъ внѣшнихъ условій, чѣмъ первые минералы, напр. въ образованіи зоны роговой обманки между кристаллами оливина или гиперстена и плагиоклаза.; 3) въ болѣе сложныхъ и труднѣ понятныхъ химическихъ реакціяхъ, напр. при образованіи граната или слюды изъ матеріаловъ, которые были принесены вмѣстѣ съ вѣкотораго разстоянія и при обстоятель-

ствахъ, о которыхъ теперь невозможно говорить съ увѣренностью".

Мы видимъ что измѣненія при динамометаморфизмѣ могутъ быть двухъ родовъ - механическія и минералогическія.

М е х а н и ч е с к і я и з м ѣ н е н і я . Къ нимъ относится напр. измѣненіе оптическихъ свойствъ минералов (Вмѣсто того, чтобы оставаться совершенно земными при скрещенныхъ николяхъ, минералы обнаруживаютъ темныя тѣни, которыя перемѣщаются при вращеніи столика, вслѣдствіе измѣненія направленія угасанія отъ одной точки къ другой. Лучше всего это видно на кварцѣ гранита и гнейса. Минералъ нормально изотропный, какъ граватъ, дѣлается анизотропнымъ; минералъ оптически одноосный, какъ кварцъ дѣлается двуоснымъ. Слюда и другіе гибкіе минералы обнаруживаютъ изогнутіе и скалываются по ряду плоскостей скользянія. Въ плагіоклазахъ плоскости скользянія совпадаютъ съ плоскостями двойниковаго сростанія и возникаютъ вторичныя двойники, не отличимыя отъ обычныхъ двойниковыхъ кристалловъ, (напр. въ норитахъ Норвегіи). Полагають, что иногда микроклины есть слѣдствіе такихъ механическихъ движеній. Включенія жидкостей въ кварцѣ располагаются по направленію плоскостей скалыванія.

Можно думать, также, что особенное отляни на вѣкоторыхъ минералахъ глубинныхъ породъ (*Structure de schistosity*) того же происхожденія. Минералы хрупкіе - разламываются, обломки округляются и постепенно развиваются такіа структура, какъ катакlastическая, очковая, и какъ ихъ крайняя

форма - расплывание (милонитовая.).

М и н е р а л о г и ч е с к і я и з м ѣ н е н і я .

Въ твердыхъ и кристаллическихъ породахъ минералогическія измѣненія происходятъ иногда раньше, чѣмъ наступаетъ измѣненіе структуры: въ мягкихъ породахъ, напр. глинистыхъ сланцахъ, структурное измѣненіе происходитъ легче, а минералогическое сопровождается только наиболее энергичныя динамическія явленія (въ филитахъ). Можно указать слѣдующія измѣненія, какъ наиболее распространенныя и интересныя.:

М и к а с и з а ц і я . Образование ~~бѣлой~~ следи насчетъ щелочныхъ полевыхъ шпатовъ, обыкновенно въ контактахъ двухъ кристалловъ или по плоскостямъ разлитованія, скалыванія. Мусковитъ появляется при этомъ въ формѣ серицита (серицитизація). Калиевый полевой шпатъ даетъ мусковитъ, а натровый - парогоритъ. Гранитъ, кварцевый порфиръ или фельзитъ превращаются въ серицитовые сланцы; также измѣняются и полевошпатовые пески и глины.

Э п и д о т и з а ц і я . Образование эпидота (силиката глинозема, кальція и желѣза) вслѣдствіе реакціи между двумя и болѣе минералами, преимущественно между пироксеномъ или роговой обманкой (т.е. желѣзисто магнезійальными) и плагіоклазомъ (известково-щелочными). Иногда діабазы превращаются при этомъ въ агрегатъ эпидота и кварца или въ породу, состоящую изъ кальцита и эпидота (эпидотовый сланецъ).

С о с е р и т и з а ц і я . - измѣненіе плагіоклаза въ

агрегатъ тонкихъ иголъ, призмъ или зеренъ, преимущественно цонзита, распределенныхъ въ веществѣ альбита. Это измѣненіе происходитъ насчетъ обмѣна извести, желѣза и воды полевыхъ шпатовъ кремнеземою и щелочами. Этотъ процессъ очень широко распространенъ въ известково-натровыхъ (лабрадоръ) полевыхъ шпатахъ крупнозернистыхъ габбро областей метаморфическихъ сланцевъ.

А л ь б и т и з а ц і я. — если при процессѣ, подобномъ предположену, натровый силикатъ отдѣляется въ видѣ тонкозернистаго агрегата или мозаики зеренъ альбита; известъ плагиоклаза или удаляется вовсе, или отлагается въ видѣ кальцита; известъ содержащихъ силикатовъ, какъ эпидотъ, цонзитъ. Обыкновенно этотъ родъ измѣненій и сопровождается сосвертываціей.

Х л о р и т и з а ц і я — измѣненіе авгита и роговыхъ обманокъ; въ такъ называемыхъ зеленыхъ сланцахъ, въ вторичный продуктъ хлоритъ (силикатъ глинозема и магнезіи):

1) болѣе или менѣе волокнистый не плеохроичный, но опредѣленно дѣйствующій на поляризованный свѣтъ; 2) чешуйчатый плеохроичный агрегатъ, слабо дѣйствующій на поляризованный свѣтъ, почти изотропный. Это измѣненіе многими геологами принимается скорѣе за результатъ вывѣтриванія. Гдѣ хлоритизація и эпидотизація происходятъ одновременно въ глиноземъ содержащихъ пироксенахъ и роговыхъ обманкахъ, возникаетъ агрегатъ свѣтло-желтыхъ кристалловъ эпидота въ зеленой чешуйчатой массѣ хлорита.

С е р п е н т и н и з а ц і я (озмѣеивиковаііе) — какъ измѣ

неніе преимущественно въ основныхъ породахъ оливинъ содержащихъ. Такія измѣненія могутъ быть слѣдствіемъ и непосредственнаго вывѣтриванія. Оливинъ можетъ измѣняться также въ тремолитъ, антофилитъ и талькъ. По мнѣнію Вейшенкунта этотъ процессъ скорѣе относится къ категоріи послѣвулканическихъ.

Измѣненіе титановыхъ рудъ - т.е. ильменита, или титанистаго магнетита діабазовъ и другихъ породъ въ блѣдно-зеленое вещество лейкоксена, т.е. особой формы сфена или титанита; это измѣненіе происходитъ съ краевъ кристалловъ и по трещинамъ.

Марморизація и доломитизація относятся къ этой же категоріи явленій; послѣдняя только частью и прямыхъ доказательствъ связи этого процесса съ региональнымъ метаморфизмомъ обыкновенно не приводится. Уралитизація - превращеніе авгита и другихъ пироксеновъ (напр. діаллага) въ плотную или волокнистую зеленую роговую обманку (уралитъ). Этотъ процессъ нельзя считать по мнѣнію Бауера и Розенбуша, за исключительно параморфическое, т.е. только молекулярное измѣненіе, такъ какъ онъ сопровождается обыкновенно и нѣкоторыми химическими превращеніями, именно отдѣленіемъ части извести пироксена съ образованіемъ эпидота или кальцита и болѣе высокимъ окисленіемъ желѣза (по *Teall*). Наиболее рѣзко процессъ выраженъ среди кристаллическихъ сланцевъ; порода очевидной эруптивной природы, напр. діабазъ, превращается въ эпидіоритъ, а при дальнѣйшемъ измѣненіи въ роговообман-

ковий или актинолитовий славень. Процесъ уралитизаціи требуетъ повышенія температуры.

С к а п о л и т и з а ц і я плагіоклазовъ въ основныхъ изверженныхъ породахъ, требуетъ притока хлоръ содержащаго натроваго раствора. По мнѣнію Вейншенка, это явленіе относится скорѣе къ категоріи мѣстныхъ послѣвулканическихъ процессовъ.

Области региональнаго метаморфизма, какъ видимъ, характеризуются обиліемъ новыхъ минераловъ, которые во многихъ случаяхъ тѣ же, что и въ зонахъ контактоваго метаморфизма, но въ болѣе богатомъ развитіи. Всѣ отличительные минералы кристаллическихъ славней могутъ служить примѣрами такой перекристаллизаціи - кварцъ, ортоклазъ, микроклинъ, олигоклазъ и друг. полевые шпаты, мусковитъ, біотитъ, роговая обманка, пироксенъ, гранатъ, кордіеритъ, силлиманитъ, андалузитъ, эпидотъ, анатитъ, цирконъ, рутилъ, железные руды, графитъ и многіе другіе. Въ грубозернистыхъ гнейсахъ нѣкоторые изъ этихъ минераловъ достигаютъ огромныхъ размѣровъ, въ особенности въ перматитовыхъ жилахъ; ласты силлиманитовъ и кристаллы роговой обманки и полевого шпата иногда достигаютъ величинъ до фута длиной.

Нужно замѣтить, что здѣсь не только простое подобіе этого ряда новыхъ минераловъ въ региональномъ и контактовомъ метаморфизмѣ, но и порядокъ, въ которомъ они слѣдуютъ одинъ за другимъ въ усиливающихся фазахъ измѣненія, остается совершенно такимъ же въ обоихъ случаяхъ. Это подобіе особенно разительно въ равныхъ стадіяхъ; при болѣе силь-

номъ измѣненіи перегруппировка и перекристаллизациа происходятъ въ болѣе крупномъ масштабѣ при региональномъ метаморфизмѣ.

Такое сходство даетъ основаніе нѣкоторымъ авторамъ, напр. Вейншенку, совершенно отрицать региональный метаморфизмъ, какъ слѣдствіе динамическихъ причинъ.

Въ послѣднее время возникло нѣсколько попытокъ дать региональное объясненіе химическихъ явленій при динамическихъ процессахъ; сюда относятся теорія *Bescke* и *Grimbert* ^{тмма} и теорія Ванъ-Хайза (*Van Hise*).

Bescke, Grimbert. Нѣтъ сомнѣній, что нельзя приписывать только одному давленію всѣ явленія, которыя оти́чаются при региональномъ метаморфизмѣ. Необходимо предполагать и присутствіе растворителей (*Lösungsmittel*), вызывающихъ химическія реакціи. ~~Опнны Шаринга надъ реакціями~~ ^{Опнны Шаринга надъ реакціями} подъ вліяніемъ только давленія не слѣдуетъ понимать очень широко. При вслѣдствіи динамическомъ процессѣ въ земной корѣ достаточными источниками воды могутъ быть горная влажность и притокъ ея изъ глубины (швенилевая вода, припомни́мъ еще послѣдніе опыты Армана Готье). Высокая температура усиливаетъ растворяющее дѣйствіе этихъ водъ. Давленіе ³ способствуетъ образованію веществъ, возникающихъ съ уменьшеніемъ объема; уменьшеніе давленія способствуетъ образованію веществъ возникающихъ съ увеличеніемъ объема. Если при повышеніи давленія образуются соединенія съ болѣе высокими удѣльными вѣсомъ, то эти соединенія имѣютъ наименьшій м о л е к у л я р н ы й о б ъ е м ъ, такъ какъ моле

молекулярный объем = $\frac{\text{молекул. вѣсу}}{\text{удѣльн. вѣсѣ}}$, Левинсонъ Лессингъ первый обратилъ вниманіе, что при образованіи такихъ сложныхъ тѣлъ, какъ горныя породы, происходитъ не простое сложение, суммирование удѣльных (молекулярныхъ) объемовъ элементовъ или ихъ окисловъ, а происходитъ или сокращеніе или расширеніе молекулярнаго объема. Пользуясь такимъ критеріемъ для пороодообразующихъ минераловъ, можно расположить все минералы въ два ряда, какъ это и сдѣлалъ Векс; одинъ рядъ представляетъ минералы съ молекулярнымъ объемомъ меньшимъ, чѣмъ сумма молекулярныхъ объемовъ составляющихъ минерала окисловъ; это будутъ минералы съ знакомъ —, а другой рядъ обнимаетъ минералы съ молекулярнымъ объемомъ большимъ, чѣмъ сумма молекулярныхъ объемовъ окисловъ; это будутъ минералы съ знакомъ + :

Минералы +	Минералы —
Пиритъ	Ильменитъ $ \text{Fe TiO}_2 $
Марказитъ	Кальцитъ
Магнитный колчеданъ $ \text{Fe}_2\text{S}_3 $	Магнезитъ
Шпинель $ \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 $	Доломитъ
Воластонитъ $ \text{CaSiO}_3 $	Сидеритъ
Содалитъ	Эвстатитъ $ \text{Mg Fe} \text{SiO}_3$
Нефелинъ	Диопсидъ $ \text{Ca Mg Si}_2\text{O}_6 $
Дейцитъ	Авгитъ
Ортоклазъ	Жаденитъ
Альбитъ	Тремолитъ
Анортитъ	Рогов. обманка
Андалузитъ $ \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 $, уд. вѣ. 3,46	Дистенъ $ \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 $, уд. вѣ. 3,46
Силиманитъ " " " " 3,24	Ставролитъ $ \text{HFe Al}_5\text{Si}_2\text{O}_{13} $
Кордіеритъ $ \text{Mg}_2 \text{Al}_4 \text{Si}_5 \text{O}_{18} $	Гроссулярь $ \text{Ca}_3 \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12} $
	Альмандинъ $ \text{Fe}_3 \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12} $
	Цоизитъ $ \text{HCa}_2 \text{Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{13} $ уд. вѣ. 3,46
	Эпидотъ $ \text{Fe}_3 $ уд. вѣ. 3,5
	Везувіанъ
	Талькъ
	Хлоритондъ
	Мусковитъ
	Титанитъ $ \text{Ca Ti TiO}_5 $

Въ кристаллическихъ сланцахъ преобладають минералы—; въ изверженныхъ породахъ и въ контактовыхъ образованияхъ преобладають минералы +, напр. андалузитъ, кордіеритъ, шпинель, которые представляются наиболее типичными для контактовыхъ образований. (Полевые шпаты, хотя относятся къ минераламъ +, но изъ нихъ альбитъ, имѣющій наименьшее увеличеніе молекулярнаго объема, играетъ наиболее видную роль въ кристаллическихъ сланцахъ.

Механическое давленіе иначе дѣйствуетъ, если оно развивается со всѣхъ сторонъ, т.е. гидростатическое (*Druck* немескихъ авторовъ), и если оно одностороннее. (*Stress, Pressure*)

Первое развивается именно на значительныхъ глубинахъ, гдѣ не можетъ происходить выдавливаніе въ какую нибудь сторону вслѣдствіе замкнутости пространства. При такихъ условіяхъ, если возбуждаются химическія реакціи, должны возникать соединенія съ наименьшими молекулярными объемами: но измѣненіе формъ, слѣдовательно и структуръ породы при этомъ будетъ наименьшее. Въ изверженныхъ породахъ, подвергающихся такому давленію, исчезаютъ малыя зерна, замѣняясь крупными, какъ наиболее благопріятными для сохраненія наименьшаго объема. Метаморфическія превращенія происходятъ при этомъ очень медленно, такъ какъ давленіе препятствуетъ перемѣщенію молекулъ, а только развивается стремленіе болѣе крупныхъ молекулъ поглотить болѣе малыя.

Одностороннее давленіе (*Stress*) возбуждается, если имѣ

ется по крайней мѣрѣ одно направленіе наименьшаго сопротивленія, по которому и возможно выдавливаніе и массовое перемѣщеніе. Каждое давленіе въ одну сторону можетъ быть разложено на составляющія по тремъ координатнымъ осямъ; въ частномъ случаѣ, когда всѣ составляющія равны между собой, одностороннее давленіе переходитъ въ гидростатическое. На большихъ глубинахъ, гдѣ верхняя нагрузка препятствуетъ возможности выдавливанія, одностороннее давленіе всегда переходитъ въ гидростатическое. Отъ распредѣленія давленія (максимальнаго, средняго и наименьшаго по тремъ составляющимъ) зависитъ и его морфологическое дѣйствіе въ случаѣ минеральныхъ новообразованій: дѣйствительно, въ однихъ случаяхъ распредѣленіе благоприятно развитію пластинчатыхъ формъ / пинакоидальныхъ /, въ другихъ - линейно-вытянутыхъ или призматическихъ формъ.

Работа односторонняго давленія (т.е. произведеніе массы на величину перемѣщенія) выражается въ:

- а) дислокаціяхъ крупнаго масштаба - складкахъ, сдвигахъ;
- б) преодолѣніи развивающагося сопротивленія отъ тренія и въ поднятіи при этомъ температуръ;
- в) механической деформаци горныхъ породъ;
- г) возбужденіи и способствованіи химическихъ и минералогическихъ превращеній, при чемъ явленія порядковъ „г“ и „в“ различнымъ образомъ комбинируются.

Механическая деформация происходитъ при относительно легкой возможности бокового смѣщенія, при маломъ количествѣ растворителей и низкой температурѣ. Наиболее сла

бая степенъ деформаціи выражаемая въ помутнѣніи кварца, омѣненіи по плоскоостямъ отдѣльностей въ кальцитѣ, появленіи двойникового оростанія въ кальцитѣ и полевоомъ шпатѣ. Слѣдующей степеню является раздробленіе и истираніе минералов по краямъ (*spiral structure*); наконецъ, если раздробленіе захватываетъ весь минералъ, возникаетъ катакластическое строеніе. Въ послѣднемъ случаѣ отдѣльныя части переищаваются по новому положенію не приходятъ въ равновѣсіе съ давленіемъ, такъ возникаетъ чечевичеобразное сложеніе и сланцеватость.

Химическое и минералогическое преобразование происходитъ при участіи растворителей. Дѣйствіе односторонняго давленія превосходить не только подѣ условіемъ закона объемовъ, но также при участіи такъ называемаго принципа Рике. (*Riche*) По его изслѣдованіямъ точка плавленія тѣла понижается вслѣдствіе давленія и переищненія (*Pressing and Eng*), а растворимость при этихъ условіяхъ возрастаетъ. Поэтому вещества растворяются въ мѣстахъ наибольшаго давленія и отлагаются въ мѣстахъ наименьшаго давленія. Вслѣдствіе такого, хотя бы минимальнаго переищненія вещества горныхъ породъ и обнаруживаются иногда признаки какущейся пластичности, и возникаютъ явленія преобразования безъ разрыва сплошности

Если столбчатые агрегаты кристalloвъ испытываютъ одностороннее давленіе по направленію реберъ призмы, то на базальныхъ плоскостяхъ вещество удаляется и переищчается въ направленіи перпендикулярномъ къ ребрамъ, гдѣ наименьшее давленіе. Столбики сплюсываются въ чечевички, пластинки и окончательно въ широкіе листочки. Изъ калиевыхъ полевыхъ

платовъ образуются чешуйчатые агрегаты серпигита, изъ амфи-
боловъ - листоватый агрегатъ біотита; лабрадоръ превращае-
тся въ пластинчатый альбитъ и игельчатый цоцитъ. Если та-
кому процессу подвергнутся всѣ составныя части горной поро-
ды, то при извѣстномъ распредѣленіи давленія возникаетъ на-
правленное расположеніе элементовъ широкими плоскостями по-
рядами къ направленію наибольшаго давленія. (*Crystallisa-
tionsbedingung* по Вэке; при иномъ распредѣленіи давленія
можетъ возникнуть линейное расположеніе въ направленіи на-
меньшаго давленія (кажущееся растяженіе, *stretching*), напр.
во многихъ амфиболитахъ.

При такихъ явленіяхъ происходитъ или только переимѣненіе од-
ного на мѣсто другихъ веществъ (кальцита, кварца) или же
и простая перекристаллизациа (т.е. молекулярная пересруппи-
ровка); такъ, авгитъ превращается въ тонковолокнистый агг-
регаты уралита, андалузита въ дистенъ. Часто происходитъ
и дѣйствительное измѣненіе вещества: изъ ортоклаза и воды
происходятъ мусковитъ и кварцъ, изъ граната и воды возника-
етъ роговая обманка и олигоклазъ; наконецъ, можетъ происхо-
дить и обмѣнное разложеніе; напр. изъ плагіоклаза, авгита и
воды образуются альбитъ, энидотъ и кварцъ.

Исключительно механическое или исключительно химико-минера-
логическое измѣненія, захватывающія всю массу горной породы
встрѣчаются рѣдко; чаще всего комбинируются оба процесса.
Совершенно естественно, что раздробленіе минераловъ увеличи-
ваетъ поверхность воздѣйствія для растворителей и облегчаетъ
обмѣнъ веществъ. Присутствіе воды способствуетъ химическимъ

превращеніямъ, такъ глини и глинистые сланцы перекристалли-
зовываются легче, чѣмъ массивныя породы. Также способствуетъ
этому и высокая температура на значительной глубинѣ. Напро-
тивъ, механической деформациі способствуетъ хрупкость ма-
гматическихъ минераловъ и ихъ способность приспособляться къ одно-
стороннему давленію вследствие развитія плоскостей отдѣлен-
ости или двойниковыхъ. Напр. въ нѣкоторыхъ конгломеративныхъ
гнейсахъ цементъ совершенно перекристаллизованъ, а гальки,
напротивъ измѣненны только механически. (Таммерфоротъ). Въ
гранитахъ часто кварцъ обнаруживаетъ катакластическія измѣ-
ненія, а полевые шпаты - серицитизацію и зоосеритизацію (Ал-
пи). Иногда порода не обнаруживаетъ совершенно слѣдовъ ката-
кластическихъ измѣненій, и тогда одностороннее давленіе вы-
разилось только въ химическихъ преобразованіяхъ, напр. мно-
гіе земные сланцы и известково-сланцевые сланцы восточныхъ
западныхъ Альпъ. Обратное, т. е. породы безъ всякихъ слѣдовъ
химическихъ преобразованій совершенно неизвестно. По мнѣнію
Ванъ-Хайза расходъ энергіи при химическихъ превращеніяхъ
меньше, чѣмъ при механическихъ, поэтому всякая порода, какъ
бы отренита достигнуть равновѣсія скорѣе первыми путемъ,
и только, если этого недостаточно, напряженіе разрѣшается
и механически.

Въ основаніе толкованія метаморфизма Векъ и Крубенианъ кла-
дутъ законъ молекулярныхъ объемовъ: считая за доказанное,
что минералы, возникающіе при участіи плавленія, характери-
зуются увеличеніемъ объема, а возникающіе при участіи давле-
нія, - уменьшеніемъ объема. Къ первымъ относятся ортоклазы,

анортотлазъ, всѣ плагіоклазы, біотитъ, авгитъ, оливинъ, селенитъ, шпинель, кордіеритъ, гранаты; ко вторымъ преимущественно — мусковитъ, дистенъ, цоизитъ, эпидотъ, роговая обманка и водные силикаты, какъ талькъ, хлоритъ, зміевикъ.

Вслѣдствіе обратимости химическихъ процессовъ подъ вліяніемъ измѣненія давленія и температуръ, каждому минералу можетъ быть свойственъ опредѣленный критическій уровень, въ котораго минералъ начинаетъ подвергаться измѣненіямъ. Это ясно, напр. для водныхъ минераловъ; если перемѣщать такой минералъ съ значительнымъ количествомъ молекул OH въ условія все возростающихъ давленія и температуръ, т.е. въ болѣе глубокія зоны земли, то условія его равновѣсія измѣняются такимъ образомъ, что постепенно появляются соединенія болѣе обданы водой включительно до безводныхъ. Наблюденія и показываютъ постепенное замѣщеніе съ глубиной хлорита — біотитомъ, цоизита и эпидота — плагіоклазомъ, мусковита — ортоклазомъ и микроклиномъ.

Можно слѣдовательно, предполагать, что на опредѣленныхъ глубинахъ земной коры господствуютъ опредѣленные факторы, которые характеризуются ясно выраженными чертами соответствующихъ измѣненій въ горныхъ породахъ. Если породы, вслѣдствіе тектоническихъ причинъ приводятся въ новыя условія давленія и температуръ, то приспособляясь къ нимъ, онѣ должны обнаруживать и опредѣленные измѣненія. Существуютъ, правда, и такіе постоянные минералы, которые остаются неизмѣненными при самыхъ различныхъ условіяхъ; къ такимъ относятся безводные минералы простого состава

- кварць, титанитъ, магнетитъ, кальцитъ, альбитъ и др.

Впервые Седергольмъ высказалъ мысль о различномъ характерѣ метаморфизма на различныхъ глубинахъ. Эта мысль въ настоящее время развивается въ Америкѣ Ванъ-Хайзомъ, а въ Европѣ Векс и Грубенманомъ.

Последніе въ основаніи раздѣленія земной коры на зоны кладутъ условія температуры и давленія. Характеръ давленія - гидростатическое или одностороннее, и неодинаковъ характеръ взаимодействія температуры и давленія. Можно предполагать такую зону, гдѣ вліяніе давленія и температуры уравниваются; глубже остается перевѣсъ за температурой, выше - за давленіемъ. Слѣдовательно, можно установить тройственное дѣленіе, а на поверхности поясъ вывѣтриванія.

Въ поясѣ в ы в ѣ т р и в а н і я породы находятся при нормальномъ давленіи и обыкновенной температурѣ; измѣненіе выражается въ окисленіи, гидратизаціи и образованіи карбонатовъ; это область сильныхъ перемѣненій веществъ, какъ съ поглощеніемъ тепла, такъ и отдачей, но эти измѣненія мы не причисляемъ къ категоріи метаморфическихъ.

В е р х н я я з о н а. Температура относительно низкая: давленіе преимущественно одностороннее. Преобладаютъ механическія измѣненія горныхъ породъ; химическія не благопріятствуютъ низкая температура, но это компенсируется значительнымъ содержаніемъ воды. Химическіе процессы происходятъ съ отдачей тепла (экзотермическіе, *positive Wärmetönung*). Давленіе и температура работаютъ въ одномъ направленіи, именно реакціи съ уменьшеніемъ объема. Массо-

вое впливiе води и всякая температура способствуеъ постоянству воиныхъ соединенiй.

О р е д н я я з о н а . Температура значительно повышается, но и здѣсь вообще должны преобладать процессы экзотермическiе, т. е. съ отдачей тепла: давленiе и температура продолжавъ дѣйствовать въ томъ же направленiи уменьшенiя объема. Давленiе одностороннее болѣе опредѣленно выраженное, чѣмъ въ верхней зонѣ, именно въ направленiи химическихъ преобразованiй. Законъ объемовъ и принципъ Рика управляетъ измѣненiями. Температура и давленiе недостаточны для разложенiя прочихъ водныхъ соединенiй.

Н и ж н я я з о н а . Температура очень велика, и обнаруживается стремленiе къ увеличенiю объемовъ. Гидростатическое давленiе очень велико, а одностороннее не можетъ проявляться. Давленiе и температура противодействуютъ другъ другу, и законъ объемовъ не можетъ проявиться съ достаточной отчетливостью; температура беретъ перевѣсъ. Существованiе водныхъ минераловъ затрудняется высокой температурой. Многие минералы этой зоны принадлежать къ группѣ +, это именно те, которые являются существенными въ изверженныхъ и контактныхъ породахъ. Давно, напр. замѣчено, что наиболее глубокiя части гнейсовъ все болѣе приближаются къ гранитамъ такъ какъ гидростатическое давленiе способствуетъ сохраненiю формъ минераловъ и ихъ увеличенiю.

Брубенцанъ даетъ слѣдующiя обзорныя таблицы, поясняющiя означенныя положенiя:

ДѢЙСТВУЮЩІЕ ФАКТОРЫ ОТДѢЛЬНЫХЪ ЗОНЪ.

	Температура.	Отношеніе реакцій къ температурѣ.	Гидростатическое давленіе.	Одностороннее давленіе	Преобладающія измѣненія.
Верхняя зона.	Умѣренная.	+ (экзотермическія реакціи).	слабое	сильное	Механическія.
Средняя зона.	выше	+ (-)	сильнѣе	очень сильное	Химическія (законъ объемовъ, принципъ Рике)
Нижняя зона	Очень высокая	- (эндотермическія)	очень сильное	слабѣе	Химическія (медленная перекристаллизациа съ сохраненіемъ формъ)

ТАБЛИЦА МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ

	Al	Al+Fe	Mg	Mg+Ca	Mg+Al	Ca+Al
ВЕРХНЯЯ		Хлоритоидъ	Антигоритъ		Хлоритъ	Цоизитъ
	Дистенъ	Гранатъ			Эпидотъ	
СРЕДНЯЯ	Дистенъ	Ставролитъ		Роговая обманка	Пиропъ	Цоизитъ Эпидотъ
		Альмандинъ				
НИЖНЯЯ			Ромб. пироксенъ	Пироксенъ Диопсидъ	Пиропъ	Анортитъ
		Альмандинъ	Оливинъ		Кордиеритъ	
	Силлиманитъ			Омфацитъ		

СОСТАВА ПО ЗОНАМЪ.

Na+Al	K+Al	K+Al+Fe+Mg	Na+Fe	Fe	Si
Альбитъ	Серпидитъ			Пиритъ Гематитъ	
		Біотитъ			
Альбитъ	Мусковитъ			Гематитъ	
Глаукофанъ		Біотитъ	Роговая обманка	Пиритъ	Титанитъ
Альбитъ	Микроклинъ			Магн. колчеданъ	Рутиль
Жаденъ	ортоклазъ	Біотитъ	Акмитъ	Магнетитъ	Ильменитъ

ТАБЛИЦА ГОРНЫХ ПОРОД ПО

ЗОНАМЪ

Верхняя	Филлитовые сланцы (кварцевый, серицитовый, известковый); Хлоритовый, тальковый сланцы, амфибикъ, эпидотовая порода. Конгломератовые сланцы, порфиронды Кварцит, катакластическія породы изъ различныхъ изверженій.
Средняя	Мусковитовый, мусковито-биотитовый, биотитовый сланцы, гранатовый, ставролитовый, актинолитовый сланцы, нефритъ, амфиболиты, гранулиты, эпидотовая, гранатовая породы, осланной гнейсы роговообманки, гранатов., эпидотов., гнейсы. Мраморъ, кварцитъ.
Нижняя	Биотитовый, пироксеновый, силлиманитовый, кордьеритовый, гранатовый гнейсы. Биотитовый сланецъ, гранулитъ, гранатово-сланецъ, гранатовая порода. Эклогитъ, жадеитъ, авгитовая пор. мраморъ, кварцитъ.

На грубо-зернистыхъ порфировидныхъ гранитахъ можно лучше всего прослѣдить измѣненіе ихъ по мѣрѣ перемѣненія ихъ въ теченіе геологическаго времени отъ глубинной зоны ближе къ поверхности:

Въ наиболее глуб. зонѣ это—порфировидная порода съ вкрапленниками овальной формы въ параллельномъ расположеніи,

біотитъ окружаетъ зчковня видѣленія изъ сѣгнхъ состав-
ныхъ частей. При преобразованіи породы подѣ вліяніемъ дав-
ленія и температури, близкой къ таковой ея образованія, ми-
нералогическій составъ сохранился тотъ же, только малыя зер-
на сгруппировались въ крупныя. Въ конечномъ результатѣ воз-
никла слабая гнейсовая структура въ первичномъ гранитѣ. Гра-
нито-гнейсъ древнѣйшихъ отложеній Финляндіи. Въ средней зо-
нѣ подѣ вліяніемъ односторонняго давленія утратилось разли-
чіе между крупными и малыи зернами; возникли полосовые аг-
регаты новообразованій кварца и полевыхъ шпатовъ, такъ какъ
химическое измѣненіе преобладаетъ надъ механическимъ. Орто-
клазъ и альбитъ первичныхъ щелочныхъ полевыхъ шпатовъ уже
не могутъ существовать въ видѣ твердаго раствора и распада-
ются, образуя микропертитовое ороотаніе. Часто появляется
распаденіе известково-натроваго полев. шпата (олигоклаза)
на альбитъ и цезитъ. Крупныя таблицы біотита распадаются
на агрегаты чешуйчатыхъ недѣлимыхъ, вызывающихъ рѣзко вы-
раженную сланцеватость. Гнейсы Финляндіи.

Наконецъ, граниты съ рѣзко выраженой катакластической
структурой, серицитизаціей ортоклазовъ, сосеритизаціей
плагіоклазовъ, эпидотизированными и хлоритизированными бі-
отитомъ представляютъ типичныя породы верхней зоны.

В з г л я д и В а н ъ - Х а й з а . Онъ понимаетъ мета-
морфизмъ шире, чѣмъ это принято нами, именно какъ совокуп-
ность всѣхъ измѣненій, которымъ подвергаются горныя породы
подѣ вліяніемъ всѣхъ дѣйствующихъ силъ и процессовъ; слѣдо-
вательно, включаетъ и явленія вывѣтриванія.

Силами, вызывающими метаморфическія измѣненія, являются - химическая энергія, сила тяжести, теплота и свѣтъ. Дѣйствующими факторами служатъ - газы, жидкости и организмы.

Вся земная кора въ отношеніи процессовъ, совершающихся въ ней дѣлится на двѣ зоны:

- 1) Зона катаморфизма (*Zone of fracture*)
- 2) Зона анаморфизма (*Zone of flowage*)

Разсмотрѣвъ всѣ минералы и ихъ измѣненія, комбинируя всѣ возможныя реакціи ихъ образованія, Ванъ-Хайзъ устанавливаетъ два рода такихъ измѣненій, характерныхъ для каждой изъ такихъ зонъ; одні и тѣ же силы въ обѣихъ зонахъ вызываютъ различное дѣйствіе.

Въ первой происходятъ реакціи съ отдѣленіемъ тепла и увеличеніемъ объема; обнаруживается стремленіе къ образованію водныхъ минераловъ и къ превращенію сложныхъ соединений въ болѣе простыхъ.

Въ нижней преобладаютъ реакціи диссоціаціи, съ поглощеніемъ тепла и уменьшеніемъ объема образующихся минераловъ.

Зона к а т а м о р ф и з м а подраздѣляется на два пояса: 1) в н ѣ т р и в а н і я и 2) ниже горизонта грунтовыхъ водъ - поясъ ц е м е н т а ц і и . Въ первомъ поясе породы разрушаются, во второмъ снова укрѣпляются.

Главнымъ факторомъ въ поясѣ в н ѣ т р и в а н і я служитъ вода, въ зависимости отъ мѣстныхъ климатическихъ условій.

Главнѣйшія химическія реакціи выражаются въ - окисленіи, гидратизаціи и карбонатизаціи, т.е. влѣченіи кремневой кислоты углекислотой. Значительныя массы составныхъ час-

тей породъ этого пояса растворяются и уносятся (проточными водами, растеканиями для ихъ жизнедеятельности); значительныя же массы перемещаются въ болѣе глубокіе пояса земной коры или даже концентрируются на поверхности при испареніи воды.

Контактныя явленія отъ изверженныхъ породъ ограничиваются здѣсь отвердѣніемъ породъ, обжигомъ ихъ, остеклованіемъ и различнымъ воздействием солей, фатаръ и фумаролъ.

Границей этого пояса отъ нижеслѣдующаго служитъ горизонтъ грунтовыхъ водъ, конечно, очень колеблющейся.

Главнымъ факторомъ въ этомъ поясе цементации служитъ вода или върѣе водные растворы, заполняющіе тамъ всѣ поры и пустоты въ горныхъ породахъ. Слабѣ дѣйствуютъ организмы, но сильнѣе уже повышенная температура и давленіе. Последнее выражается въ уплотненіи породъ, развитіи въ нихъ напряженій и разломовъ.

Химическія реакціи тѣ же, что и выше. Окисленіе и карбонизация происходятъ, если O и CO_2 не успѣютъ быть израсходованными выше; частью же CO_2 образуется и здѣсь отъ разложенія карбонатовъ или органическихъ веществъ, частью на счетъ притока CO_2 снизу, гдѣ вытѣсненіе угольн. кислоты представляетъ важное явленіе. Гидратизация выражается въ образованіи такихъ минераловъ, какъ хлоритъ, эпидотъ, цеолиты, эмъевикъ, лимонитъ и проч. Главнымъ же процессомъ здѣсь является о т л о ж е н і е и, какъ слѣдствіе этого, ц е м е н т а ц і я. Вещества, доставляющія изъ пояса вывѣтриванія, отлагаются здѣсь въ порахъ и пустотахъ (окислы, карбо-

нати, силикаты, сульфиды). Хотя источники и выносятся изъ этого пояса много веществ, но въ конечномъ итогѣ получается выполнение пустотъ вслѣдствіе преобладанія реакцій съ увеличеніемъ объема (до 25%); а также вслѣдствіе подачи веществъ снизу и отъ интрузивныхъ толъ изверженныхъ породъ. Одновременно съ отложеніемъ идетъ и метасоматизмъ, т.е. замѣненіе частей или совершенно однихъ веществъ другими.

Вліяніе изверженныхъ породъ выражается въ инъекціяхъ въ среди осадочныхъ.

Механическія измѣненія на породахъ обонхъ поясовъ выражаются въ разломахъ, образованіи кавва, откуда и названіе зоны разломовъ (*zone of fracture*). Зона а н а м о р ф и з м а начинается тамъ, гдѣ вслѣдствіе высокаго давленія циркуляція воды становится возможной только по капиллярнымъ порамъ. Движеніе этихъ водъ безконечно медленное, а высокая ихъ температура, вѣроятно выше критической для воды, даетъ имъ особенную химическую энергію. Главное количество воды этой зоны доставляется дегитратизаціей водныхъ соединений или отдѣленіемъ ее отъ интрузивныхъ массъ / см. изсл. Арм. Потье/. Вслѣдствіе неустойчивости условій породъ въ этой зонѣ, измѣненія ихъ очень разнообразны.

Механическое вліяніе выражается въ уплотненіи до состоянія возбужденія молекулярныхъ силъ; также въ развитіи напруги выше предѣла упругости. Ванъ Хайзъ также различаетъ давленіе статическое и одностороннее (*stress*) и неодинаковое вліяніе ихъ на породы, какъ мы рассматривали это въ из

ложеніи Бэке и Грубенмана.

Химическія явленія выражаются въ реакціяхъ обратныхъ тѣмъ, которыя мы видѣли въ верхней зонѣ: 1) возстановленіе, 2) силикація /кальцитъ измѣняется въ воластонитъ, сидеритъ $FeWO_3$ въ грюнеритъ, $FeSiO_3$, рутиль и кальцитъ въ титанитъ; (оливинъ и кальцитъ въ актинолитъ) съ уменьшеніемъ объема, до 20 - 40%; этимъ путемъ можетъ возникнуть двенилевая углекислота; 3) дегитратизація; 4) раствореніе и отложеніе; 5) метазоматизмъ, но при слабомъ участіи воды и съ характеромъ реакцій, обратныхъ пояса цементациі. Явленіямъ метазоматизма способствуетъ давленіе, вызывающее или только грануляцію (т.е. раздробленіе крупныхъ зеренъ на мелкія), или перекристаллизацію съ измѣненіемъ структуры или безъ измѣненія.

Вліяніе изверженныхъ породъ выражается въ сложныхъ процессахъ пневматоліза и гидатопневматолитическихъ. Совокупность всѣхъ этихъ процессовъ, рѣдко осуществляющихся отдѣльно, ведетъ къ возможности теченія породъ (*flowage*); т.е. перемѣщеніямъ ихъ безъ разрыва сплошности. Существенными условіями этого измѣненія являются раствореніе и отложенія, какъ рассмотрѣно выше, и механическія причины. Въ началѣ и концѣ процесса горная порода представляетъ твердое тѣло, за исключеніемъ ничтожныхъ ея количествъ, перешедшихъ въ растворъ; это тѣло въ теченіе всего процесса находится въ состояніи непрерывнаго приспособленія къ вѣншимъ условіямъ. Первичная структура совершенно измѣняется, но химическія измѣненія, если не оказываютъ вліянія внутру-

зивних тощ, зрівняльно незначительн; вслѣдствіє мала-
го количества води и медленности ея циркуляціи

П і е з о к р и с т а л л и з а ц і я в п і е з о -
к о н т а к т о в и й м е т а м о р ф и з м ъ .

Явленія контактового метаморфизма такъ трудно отличить
отъ динамометаморфическихъ, что совершенно естественно въ
последніе годы возникло ученіе, расширяющее понятіе о
контактовомъ метаморфизмѣ. Мы уже видѣли рядъ изслѣдова-
ній /Гики, М. Леви и друг./, по которымъ трудно провести
границу между процессами магматического отвердѣванія и об-
разованіемъ кристаллическихъ сланцевъ. Образование полоса-
тыхъ габбро при одновременной интрузіи магмы различнаго
состава, подобныя же образованія полосатыхъ шлировъ въ
гранитахъ и флидальное расположеніе въ различныхъ извер-
женныхъ породахъ представляютъ переходы къ структурамъ,
выражающимъ параллельнымъ расположеніемъ элементовъ подъ
вліяніемъ давленія на магму въ періодъ ея отвердѣванія.

Если, напр. одностороннему давленію подвергается интрузи-
рующая масса изверженныхъ породъ, какъ это могло случитьсѣ
при процессахъ складкообразованія (Альпи), то затвердѣва-
ніе ея происходитъ подъ одностороннимъ давленіемъ по кра-
ямъ такой массы и подъ гидростатическимъ въ ея серединѣ.
Тонкосланцеватые гнейсы и зернисто-кристаллическіе грани-
ты постепенно переходятъ другъ въ друга отъ краевъ масси-
ва (напр. С. Готардъ) къ его серединѣ. По краямъ можетъ во-
зникнуть еще въ вязкой массѣ породы первичное параллель-
ное расположеніе напр. листочковъ сланца и вкрапленниковъ

полевого шпата, какъ бы флюидально окруженные листочками слюды (очковый гнейс). Кварцъ при этомъ можетъ быть раздробленъ (*Sandquartz* въ Альпійскихъ гранитахъ). Давленіе вызываетъ дѣйствіе закона объемовъ, и минеральный составъ гранитовъ такихъ центральныхъ массивовъ отличается по сравнению съ обыкновенными гранитами развитіемъ составныхъ частей болѣе высокаго удѣльнаго вѣса. Давленіе затрудняетъ отдѣленіе жвешевыхъ водъ изъ такихъ массъ и возможно первичное образованіе водныхъ минераловъ (серицита, эпидота, цонзита въ полевыхъ шпатахъ). Параллельное расположеніе при такомъ процессѣ происходитъ также по принципу Рике, т.е. скорость нарастанія при кристаллизаціи въ насыщенномъ растворѣ уменьшается въ направленіи давленія и возрастаетъ въ направленіи перпендикулярномъ

Затвердѣваніе изверженныхъ породъ при условіяхъ такого односторонняго давленія во время складчатости Вейншенкъ и называетъ *п і е з о к р и с т а л л и з а ц і е й*. *П і е з о к о н т а к т о в ы й* метаморфизмъ онъ называетъ воздѣйствіе такихъ интрузивныхъ толщъ на окружающія породы, выражающееся главнѣйше въ дѣйствіи газовыхъ выдѣленій. Окружающія породы подъ вліяніемъ тепла такихъ выдѣленій приводятся въ вязкое состояніе и испытываютъ полную перекристаллизацію. Газы при этомъ нагнетаются въ окружающія породы, а медленная интрузія гранитной массы обуславливаетъ продолжительность процесса и его неоднократное возобновленіе. Понятіе такого контактоваго измѣненія очень широко, и Вейншенкъ объясняетъ имъ прохожденіе всѣхъ сланцевъ, ок-

ружающих центральнй массив Альпъ. Минералогическій составъ этихъ оланцевъ, отличный отъ состава обыкновенныхъ контактовыхъ породъ, именно развитіе минераловъ болѣе высокаго удѣльнаго вѣса, говоритъ въ пользу образованія ихъ подъ видокимъ давленіемъ. Разница въ объясненіи структуры краевыхъ частей центрального массива Альпъ по Вейншенку и Вэке въ томъ, что первый считаетъ процессъ магматическаго затвердѣванія и давленіе одновременными, а второй относитъ ихъ къ явленіямъ, раздѣленнымъ во времени. По мнѣнію Вейншенка, образованіе въ контактовыхъ измѣненныхъ породахъ большихъ минеральныхъ индивидуумовъ, какъ продуктовъ концентрации элементовъ, первоначально разбѣянныхъ по всей массѣ, совершенно противорѣчитъ возможности такого процесса въ твердомъ состояніи; въ большинствѣ случаевъ структура такихъ породъ показываетъ на извѣстную подвижность молекулъ въ теченіе процесса измѣненія. Такая подвижность была общей и не только сосредоточивалась по отдѣльнымъ трещинамъ и жиламъ. Нагрѣтая горная порода представляла какъ бы вязкую массу, въ которой и происходили различныя физическія преобразованія. Слѣдовательно, предположеніе о такомъ вязкомъ состояніи породъ въ теченіе процесса метаморфизаціи отличаетъ гипотезу Вейншенка отъ гипотезы Вэке, принимающей измѣненіе въ твердомъ состояніи:

Вейншенкъ оправедливо критикуетъ чисто механическое представление о динамометаморфизмѣ, но изъ предшествующаго очерка мы видѣли, что со временъ *Lossen* а уже принимаютъ во вниманіе роль растворителей, а опитамъ Шпринга нѣкто

не придаетъ основного значенія въ объясненіи динамометаморфизма.

Стараясь всё явленія метаморфизма свести къ контактовымъ явленіямъ, Вейншенкъ указываетъ между прочимъ на распространеніе въ сланцахъ около центрального массива Альпъ "гелицитовой" структуры. Подъ именемъ гелицитовой (*helizitisch*, изогнутой) онъ понимаетъ явленіе причудливой изогнутости. поясовъхъ выдѣленій въ кристаллическихъ сланцахъ контактовой зоны, т. е. сохраненіе первичной структуры (также называемой палимнестовой) Точно также нѣтъ ни одной структуры кристаллическихъ сланцевъ въ Альпахъ, которая бы не повторялась въ нормальныхъ контактовыхъ породахъ. Разница между породами нормального контакта и пьезо-контактовыми только въ томъ, что послѣднія всегда заключаютъ изъ двухъ диморфныхъ формъ ту, которая имѣетъ болѣе значительный удѣльный вѣсъ.

Вейншенкъ отмѣняетъ отмѣченное уже и другими исследователями различіе между кристаллическими сланцами, напр. центральныхъ Альпъ и Богемскаго массива, Финляндіи, Канады. Первые онъ называетъ альпійской фацией, вторые нормальной. Въ нормальной фациі въ вертикальномъ разрѣзѣ слѣдуютъ за однообразными гнейсами зона инжецированныхъ сланцевъ (гнейсовидныхъ), затѣмъ поясъ слюдяныхъ сланцевъ и выше всего филлиты, какъ наименѣе измѣненная порода. Въ альпійской фациі на гнейсахъ центрального массива замѣгаютъ очень разнообразныя породы, то инжецированныя сланцы, то мраморъ, то слюдяной сланецъ, то непосред-

венно филлиты; такое разнообразие происходит отъ различія породъ, подвергавшихся измѣненію отъ гранитовъ центральнаго массива, а въ нормальной фациі (напр. Вогемскихъ горъ) однообразие продуктовъ ихъ и порядокъ ихъ зависятъ отъ постоянства и однообразія свѣта древнихъ глинистыхъ сланцевъ, подвергшихся измѣненію.

Съ точки зрѣнія Вэке въ этихъ фацияхъ нужно видѣть представителей различныхъ глубинныхъ поясовъ - альпійская болѣе высокаго, нормальная - болѣе глубокаго. Распредѣленіе кристаллическихъ сланцевъ по тремъ зонамъ (см. выше приведенную таблицу Грубенмана) соответствуетъ тройственному дѣленію кристаллическихъ сланцевъ по возрасту. Съ точки зрѣнія Вейншенка, верхняя зона Вэке есть наружный поясъ піезоконтактовъ метаморфизма съ ея филлитами, серицитовыми сланцами; средняя зона соответствуетъ внутреннему поясу піезоконтактоваго метаморфизма, а нижняя соответствуетъ поясу нормального контактоваго метаморфизма (развитіе кордіерита, силлиманита, андалузита, и соответствующихъ роговиковыхъ породъ)

Вейншенкъ въ каждой изъ этихъ фаций различаетъ двѣ группы породъ: одна съ признаками первичнаго происхожденія ея минералогическихъ и структурныхъ особенностей, другая съ признаками метаморфического образованія тѣхъ и другихъ.

Первая группа обнимаетъ лейкократовныя породы типа гранитовъ и тоналитовъ съ принадлежащими къ нимъ аплиты, демидрофирами и пегматитами, рѣже также породы перидотитоваго типа. Онѣ имѣютъ нормальный минералогическій составъ

изверженных породъ и часто отчетливо выраженную сланцеватость, какъ слѣдствіе пиезокристаллизациі. Эту группу Вейншенкъ и называетъ кристаллическими сланцами. Вторая группа, которую онъ называетъ метаморфическими сланцами, представляетъ частью первичныя осадочныя породы, частью изверженныя. Среди нея можно отличить представителей всѣхъ осадочныхъ породъ, за исключеніемъ легко растворимыхъ породъ, какъ каменная соль и ея спутники. Съ другой стороны къ ней относятся изверженныя породы основного типа, вообщѣ излившіяся на поверхность и ихъ туфы, (частое сохраненіе въ нихъ, напр. кварцевыхъ включеній въ серицитовыхъ сланцахъ, порфировая или офитовая структура — такъ называемая палиссестовая, т.е. реликтовая — въ амфиболитахъ и зеленыхъ сланцахъ). Структура такихъ метаморфическихъ сланцевъ идентична структурамъ контактовыхъ образований; контактное ихъ происхожденіе подтверждается также частнымъ нахожденіемъ въ нихъ турмалина.

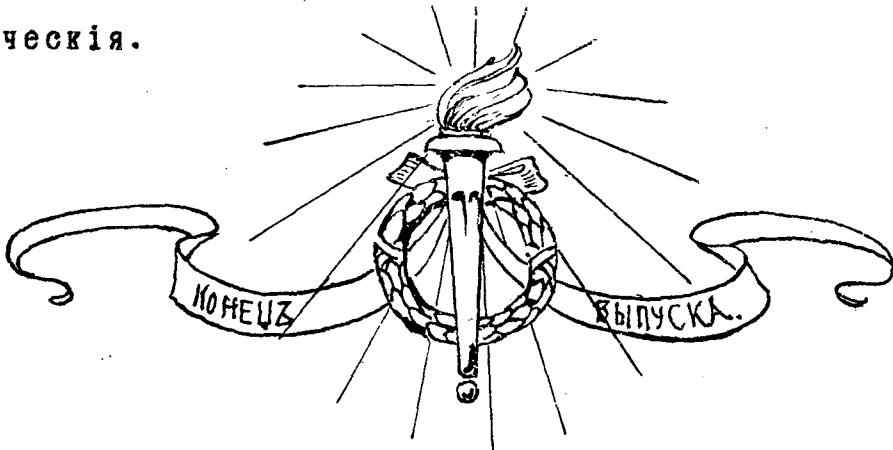
Нормальная и альпійская фациі собственно кристаллическихъ сланцевъ легко отличимы по присутствію въ породахъ альпійской фациі всегда минераловъ, образованныхъ согласно закону объемовъ; такъ на мѣстѣ основныхъ плагіоклазовъ (известково-натровыхъ) въ альпійской фациі появляются тяжелые известково-глинозем-е-силикаты (роговая обманка, эпидотъ) рядомъ съ болѣе кислыми плагіоклазами (альбитъ), также различные водные силикаты, какъ хлоритъ и змѣевикъ.

Нетрудно различить фациі метаморфическихъ сланцевъ, кото-

рше Вейншенкъ считаетъ за результатъ контактоваго вліянія или нормального, или піезо-контактоваго; послѣднее развивается около породъ, возникшихъ піезо-кристаллизацией. Породы измѣняются при этомъ согласно закону объемовъ и принципу Рике, т.е. принимаютъ сланцеватое строеніе и преобразуются въ минералы болѣе высокаго удѣльнаго вѣса, но дѣйствующими факторами Вейншенкъ считаетъ повышенную температуру и увеличенныя отдѣленія, какъ факторы, дѣйствительно существующіе около интрузивныхъ массъ.

Между кристаллическими сланцами и метаморфическими онъ ставитъ еще какъ переходную ступень, инжецированные (*injiziert*) сланцы, составляющіе часто главную часть гнейсовъ нормальной фаніи кристаллическихъ сланцевъ (гранитизированныя породы Финляндіи).

Вейншенкъ очень настойчиво отбъиваетъ невозможность дать исключительно петрографическую классификацію кристаллическихъ сланцевъ, такъ какъ при такомъ дѣленіи легко соединить геологически совершенно различныя образованія въ одну группу. При изученіи ихъ необходимо всегда помнить геологическія основанія, которыя позволяютъ выдѣлить собственно кристаллическіе сланцы, какъ изверженныя породы первичной структуры, отъ метаморфическихъ, изверженныхъ въ измѣненномъ состояніи и осадочныхъ, превращенныхъ въ кристаллическія.



страница	строка сверху	строка снизу	Написано	Слѣдуетъ читать:
18		12	соединять	сохранять
20		7	не болѣе части	не болѣе $\frac{1}{30}$ части
58		7	85,5, 110, 121,8 124,0 126 а б в г д	85,5° 110°, -- 121,8, 124,0 126°. а б в г д е
99	7			Пропускъ: "Low" стр 202 <i>heterodyne</i> <i>change</i>
103	16			тоже: "см. Low"
196	11			тоже: "см. Low" стр. 194-195
109	3		(эруптивными)	(эффузивными)
127		14	обломковъ	облаковъ