VI. Его-же. Важный шагъ научной петрографіи.

(По поводу книги Bowen The later stages of the evolution of the igneous rocks).

Послѣ большого числа дорого стоящихъ синтетическихъ опытовъ, произведенныхъ при весьма высокихъ температурахъ въ геофизической лабораторіи института Карнеджи мы получаемъ начало строгой научной теоріи генезиса изверженныхъ горныхъ породъ въ замѣну большого числа субъективныхъ взглядовъ, наводнявшихъ петрографическую литературу послѣднихъ десятилѣтій. Первое начало строгой теоріи было положено книгой швед-

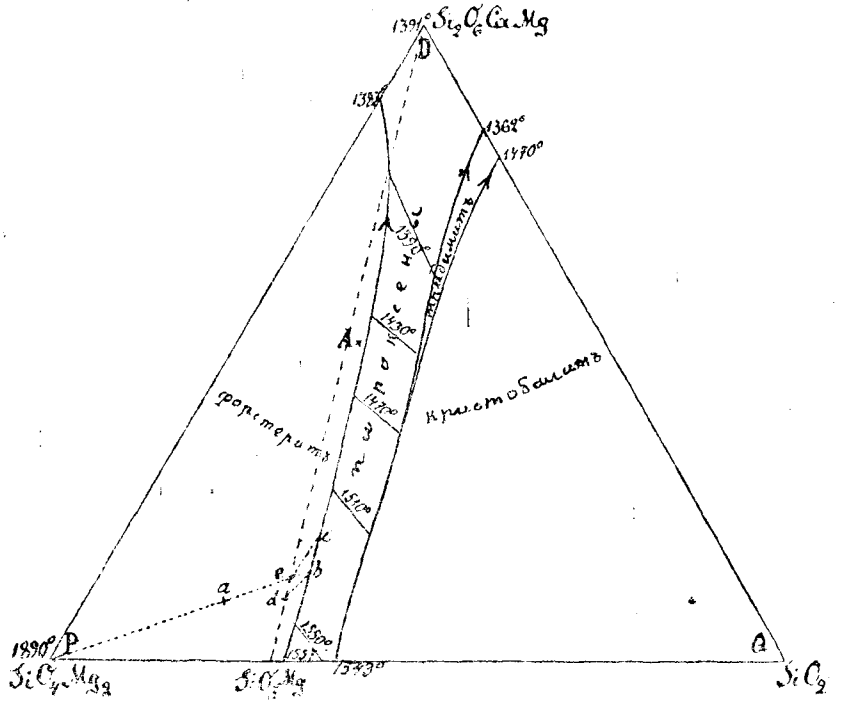
скаго металлурга Vogt Silikatschmelzlösungen; главная заслуга Фохта значительная расчистка пути отъ слабыхъ субъективно-эмпирическихъ обобщеній, тѣмъ самымъ вызывавшей неизбѣжность примѣненія болѣе строгихъ методовъ изслѣдованія, и, что наиболѣе существенно, методовъ, построенныхъ на результатахъ, достигнутыхъ недавно появившейся, но уже получившей грандіозное развитіе физическою химіи.

Центръ тяжести новаго сочиненія въ количественномъ измѣреніи температуръ плавленія и состава появляющихся кристалловъ изъ сплава трехъ компонентовъ. Наибольшую важность имѣютъ діаграммы для случаевъ, когда такими компонентами являются: 1) форстеритъ, діопсидъ, кремнеземъ, 2) діаграмма Андерсена съ форстеритомъ, анортитомъ и кремнеземомъ и 3) діопсидъ, анортитъ, альбитъ.

Количественное отношеніе компонентовъ выражается точками внутри трехугольника, вершины котораго представляютъ чистыя компоненты—способъ, въ сущности заимствованный изъ кристаллографіи [1]), но получившій теперь въ петрографіи обширное примѣненіе. Мы легко опредѣлимъ химическій составъ, соотвѣтствующей каждой фигуративной точки, если припишемъ тремъ компонентамъ P, D и Q такіе вѣса, чтобы данная точка была центромъ тяжести ихъ системы (барицентрическія координаты). Діаграммы составлены для вѣсовыхъ (а не частичныхъ, что было бы теоретически правильнѣе), количествъ компонентовъ.

Начну съ выводовъ изъ первой діаграммы.

На ней пунктиромъ проведена линія пироксеновъ, и утолщенными чертами—линіи растворимости то есть такія, въ точкахъ которыхъ перемѣняются выдѣляющіеся минералы то есть рядомъ выдѣляются два различные. Если напр. возьмемъ въ форстеритовой области какую-нибудь точку, даже заходящую за линію пироксеновъ, какъ напр. точку A, то сначала выдѣляется чистый форстеритъ; вмѣстѣ съ его



Фиг. 1.

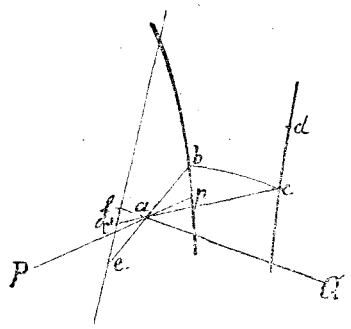
выдѣленіемъ составъ жидкости мѣняется по вектору PA, пока составъ и температура не будутъ соотвѣтствовать точкѣ на линіи, раздѣляюшей форстеритъ отъ пироксеновъ.

Но самъ ходъ явленій въ громадной степени зависитъ отъ скорости охлажденія. Простѣйшіе результаты получаются при чрезвычайно медленномъ охлажденіи, дающемъ возможность поддерживать равновѣсіе между составомъ раствора и выдѣляющихся кристалловъ, которое непрерывно нарушается съ ходомъ выдѣленія и измѣненіемъ состава раствора. Кромѣ того еще необходимо постоянное прикосновеніе выдѣлившихся кристалловъ съ растворомъ, а это возможно лишь при такомъ перемѣшиваніи раствора чтобы никакая часть выдѣлившихся кристалловъ не вышла изъ данной небольшой области; различіе же въ удѣльныхъ вѣсахъ жидкости и кристалловъ непрерывно стремится это сдѣлать.

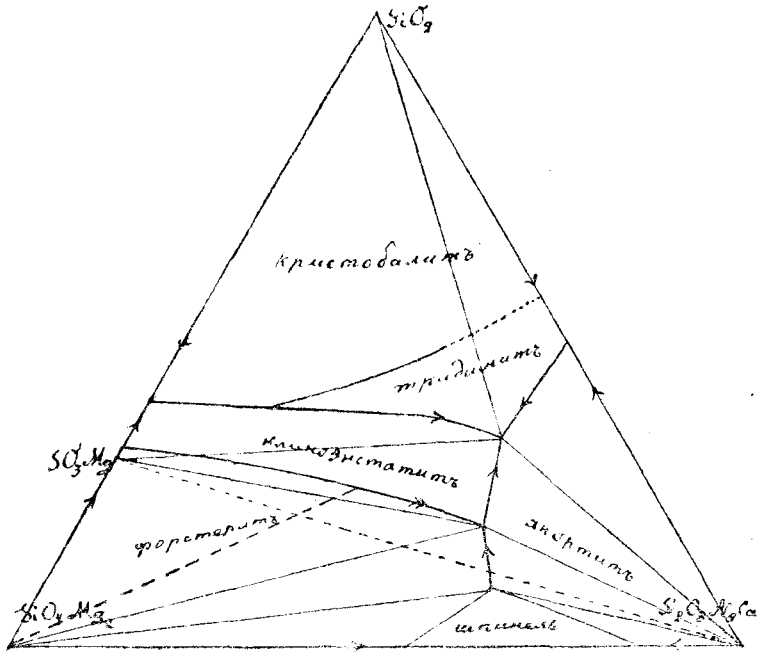
[1]) Способъ кристаллографіи (гномонической проекціи тригональныхъ кристалловъ), въ свою очередь, основанъ на геометрической сѣти Мебіуса, развитой въ его сочиненіи Barycentrischer Kalkül. Авторъ этой замѣтки еще съ конца прошлаго вѣка неоднократно указывалъ на важность примѣненія и возможности дальнѣйшаго развитія такихъ пріемовъ для петрографіи, въ частности, для построенія діаграммъ съ четырьмя компонентами, которыя позволятъ на основаніи экспериментальныхъ данныхъ сдѣлать наиболѣе широкія обобщенія, и, какъ раньше онъ предвидѣлъ употребленіе діаграммъ, употребляющихся нынѣ, такъ онъ предвидитъ появленіе и распространеніе четырехкомпонентныхъ діаграммъ.

При безграничной медленности охлажденія произойдетъ слѣдующее. Если фигуративная точка a находится въ области форстерита, выдѣляющіеся кристаллы перемѣщаютъ точку (состава раствора) по вектору ab и когда температура понизится до соотвѣтствующей точки, начнутъ выдѣляться кристаллы пироксена d, а одновременно выдѣлившіеся кристаллы форстерита начнутъ растворяться. Съ дальнѣйшимъ пониженіемъ температуры начнутъ растворяться и раньше выдѣлившіеся кристаллы пироксена, а вмѣсто нихъ будутъ выдѣляться болѣе известковые; при этомъ точка b передвигается къ c, когда наконецъ окристаллизуется вся жидкость, а точка d при этомъ передвинется въ точку e (на векторѣ ab), такъ какъ составъ a можно разложить на P и e (въ обратной пропорціи векторовъ): фактически послѣдняя часть затвердѣвающаго раствора будетъ имѣть составъ c.

Если фигуративная точка a находится даже за прямою пироксеновъ, но еще не доходя до кривой растворимости, и температуры d, при которой отвердѣваетъ весь растворъ причемъ составъ пироксена достигаетъ точки f. Въ кристаллической массѣ мы имѣемъ составъ изъ кристобалита и пироксена f, гдѣ f находится на векторѣ Qa (при содержаніи минераловъ, обратномъ отношенію отрѣзковъ вектора).



Фиг. 2.



Фиг. 3.

то, какъ упомянуто, сначала все-таки выдѣляются кристаллы форстерита, а точка перемѣщается по вектору до точки p (фиг. 2) на кривой, когда при соотвѣтствующей температурѣ кристаллы форстерита растворяются, а выдѣляются кристаллы пироксена до пониженія температуры до нѣкоторой точки b; тогда форстеритъ вполнѣ растворился, пироксены приняли составъ e, а растворъ составъ b. Теперь начинаютъ выдѣляться кристаллы кристобалита (который не можетъ при этихъ условіяхъ присутствовать одновременно съ форстеритомъ) и точка перемѣщается отъ b къ c при выдѣленіи также и пироксена, измѣняющагося состава (отъ e до c'); достигнувъ второй кривой, фигуративная точка при все понижающейся температурѣ и перемѣнѣ состава пироксена, достигаетъ точки состава

Если точка a заходитъ за предѣлы первой кривой, то ясно, что съ самаго начала форстерита не выдѣляется.

Теперь достаточно себѣ представить или 1) что охлажденіе идетъ быстро, или 2) что образующіеся кристаллы опускаются въ другой районъ магмы, чтобы понять, сколь различные результаты получатся при этихъ условіяхъ.

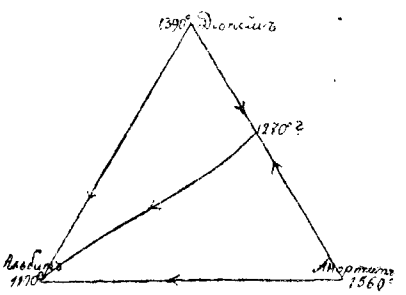
Прежде всего ясно, что кристаллы пироксена, не успѣвая растворяться, будутъ покрываться слоями все болѣе и болѣе известковистыхъ разностей, и есть степень охлажденія, при которой образованіе слоистыхъ кристалловъ дости-

гаетъ своего максимума. Съ другой стороны составъ раствора будетъ въ болѣе значительной степени обогащаться кремнеземомъ, а если при этомъ болѣе плотные кристаллы будутъ опускаться, а менѣе плотный растворъ подниматься, то въ концѣ-концовъ изъ вполнѣ однороднаго первоначальнаго раствора образуются самые различные типы изверженныхъ горныхъ породъ, начиная отъ перидотитовъ до самыхъ кислыхъ разностей гранитовъ, если въ составъ магмы входятъ и окислы, способныя образовать полевые шпаты и слюды.

Діаграмма Андерсена (фиг. 3) относится къ компонентамъ форстериту, анортиту и кремнезему, а діаграмма фиг. 4 къ компонентамъ діопсиду, анортиту и альбиту.

Послѣдняя отличается особенною простотою и дѣлаетъ понятнымъ, что послѣдніе выдѣлившіеся кристаллы всегда приближаются къ альбиту, если не составляютъ чистаго альбита. Въ ней, также какъ и въ первой діаграммѣ, вовсе нѣтъ эвтектическихъ точекъ, въ противоположность второй съ тремя таковыми; это объясняется присутствіемъ изоморфныхъ компонентовъ. Но вторая (Андерсена) представляетъ наибольшій интересъ, ясно отмѣчая громадное разнообразіе породъ, могущихъ возникнуть изъ магмы съ тремя компонентами.

Она въ наибольшей степени дѣлаетъ понятною ту схему, по которой расщепляется большинство магмъ, если



Фиг. 4.

только раньше образующіеся кристаллы осаждаются по удѣльному вѣсу и уносятся въ другіе районы общей магмы, а въ этомъ по автору (также какъ задолго раньше и составителемъ этой замѣтки) и проявляется въ наибольшей степени дифференціація магмъ.

Но если въ этомъ пунктѣ я усматриваю весьма точное экспериментальное подтвержденіе того, что раньше было лишь теоретическимъ умозаключеніемъ изъ ряда наблюденій, то въ вопросѣ о значеніи вовлеченія въ растворъ веществъ изъ материка, облекающаго магматическій бассейнъ, Боуенъ приходитъ путемъ пространныхъ разсужденій къ существенно инымъ выводамъ, чѣмъ заключенія автора замѣтки, придававшаго этой причинѣ дифференціаціи довольно широкое примѣненіе. Это отчасти становится понятнымъ, въ виду крайнихъ предѣловъ дифференціи, выводимыхъ Боуеномъ и безъ этой особой причины. Но вполнѣ не отвергаетъ этого фактора и онъ, и едва-ли для полнаго уясненія значенія этого фактора не придется еще подождать будущихъ экспериментальныхъ изслѣдованій.

Кромѣ того, и Боуенъ, подобно давнишнимъ авторамъ придаетъ большое значеніе парамъ воды и другимъ летучимъ веществамъ, выносимымъ вмѣстѣ съ магмою. Особенно связывается имъ съ дѣйствіемъ этого фактора образованіе амфиболовъ, біотита, но также и вытѣсненіе кремнезема, которое сочетается съ образованіемъ нефелиновыхъ и другихъ крайнихъ щелочныхъ породъ.

На этомъ основаніи имъ составляется для всѣхъ магмовыхъ бассейновъ болѣе или менѣе проявляющаяся одна общая схема:

базальтическая магма
↓
діоритовая
↓
гранодіоритовая
↓ ↓
гранитовая (базанитовая)
↓ ↓
фояитовая (фояитовая).

Не имѣя въ виду въ этой замѣткѣ сколько-нибудь полно передать всѣ заключенія и выводы автора, я однако упомяну о нѣсколькихъ характерныхъ и довольно обычныхъ явленіяхъ эруптивной петрографіи.

Появленіе наиболѣе строго отсортированныхъ, а именно мономинеральныхъ (простыхъ породъ прежней петрографіи), становится яснымъ уже изъ предъидущаго изложенія и конечно сводится къ осажденію въ кристаллическомъ видѣ и никоимъ образомъ не къ отсортированію частей магмъ въ жидкомъ видѣ. Имѣются и прямые факты, убѣдительно свидѣтельствующіе о необходимости признанія такого процесса.

Нерѣдко наблюдаемое повышеніе основности породъ вблизи скорѣе охлаждающихся стѣнокъ магмовыхъ резервуаровъ («явленіе Соре») Боуенъ весьма остроумно и правдоподобно объясняетъ сравнительно быстрымъ остываніемъ этой прилегающей полоски, благодаря которому выдѣлившіеся сначала минералы болѣе основного состава не успѣли удалиться, между тѣмъ какъ дифференціація болѣе глубокихъ слоевъ пошла этимъ путемъ гораздо дальше, въ результатѣ чего образовались породы значительно болѣе кислаго состава, а вмѣстѣ съ тѣмъ и меньшаго удѣльнаго вѣса, сравнительно съ тѣми, которыя первоначально занимали эти слои.

Авторъ этой замѣтки давно различалъ между изверженными породами нормальныя съ болѣе или менѣе строгими признаками химическаго равновѣсія и аномальныя, не поддающіяся никакимъ законамъ равновѣсія и никакой строгой научной классификаціи, а несущими на себѣ яркіе признаки послѣдовательнаго хода явленій, который, благодаря имъ и можетъ быть выясненъ въ своей послѣдовательности. Такія породы можно только описывать, а изъ описанія выводить историко-геологическія даты.

Теперь, послѣ опубликованія важнаго труда Боуена невольно склоняешься къ мысли о весьма слабой представленности нормальныхъ породъ и пожалуй даже ихъ отсутствію; въ природѣ представлены только приближенія къ нимъ, почему на нихъ скорѣе приходится смотрѣть не какъ на нормальныя, а какъ на идеальныя. Приближеніе къ нимъ достигается лишь соблюденіемъ ряда условій, которыя рѣдко сочетаются вмѣстѣ: необходима почти безграничная медленность остыванія, чтобы непрерывно поддерживалось совершенное химическое равновѣсіе; необходимы или замкнутость бассейна въ очень маленькихъ резервуарахъ и то при сильномъ размѣшивающемъ движеніи, или бассейнъ особенно обширный и

однородный по составу въ своихъ частяхъ; во всѣхъ случаяхъ необходимо возможно совершенное перемѣшиваніе и всякія препятствія для отдѣленія тяжелыхъ минераловъ. Трудно думать, чтобы такія условія осуществлялись въ большомъ масштабѣ.

22 февраля 1916 г.