

ляется это передвиженіе. Приведеніе въ фокусъ объектива точекъ, лежащихъ на верхней поверхности шлифа, соотвѣтствуетъ вообще установкѣ даннаго минерала на ясное видѣніе; въ качествѣ-же точекъ, находящихся на нижней поверхности, могутъ служить различныя пылинки, обыкновенно встрѣчающіяся между канадскимъ бальзамомъ и пластинкой минерала.

Для полученіе болѣе точныхъ результатовъ нужно сдѣлать нѣсколько наблюденій и надъ различными точками. Кромѣ того для уничтоженія вреднаго вліянія мертваго хода винта каждая установка опредѣляется какъ среднее арифметическое отсчетовъ, получаемыхъ при подведеніи трубы микроскопа къ этому положенію съ обѣихъ сторонъ.

Чтобы сдѣлать установку на фокусъ болѣе чувствительною, нужно примѣнять самые сильные объективы и даже съ погруженіемъ послѣднихъ въ сильно преломляющія жидкости.

Если-бы описываемый способъ опредѣленія толщины шлифа могъ примѣняться въ совершенно параллельномъ свѣтѣ, то передвиженіе трубы микроскопа какъ-разъ отвѣчало бы искомой величинѣ. Но мы только-что видѣли, что необходимо употреблять очень сильные объективы, а это связано съ введеніемъ конденсора, т. е. наблюденіе приходится вести въ коноскопѣ. Чтобы избавиться отъ различныхъ случайностей, будемъ всегда опускать немного освѣтительный аппаратъ такъ, чтобы имѣть при измѣреніяхъ расходящійся свѣтъ. При такихъ условіяхъ въ измѣренную толщину шлифа необходимо ввести слѣдующую поправку.

Пусть черезъ точку P , лежащую на нижней поверхности пластинки (фиг. 30), проходитъ пучокъ расходящихся лучей свѣта. Очевидно, эта точка будетъ казаться занимающей положеніе P' , каковая точка и устанавливается въ фокусъ объектива. Вслѣдствіе этого, чтобы перевести затѣмъ въ фокусъ верхнюю точку O , трубу микроскопа придется передвинуть на разстояніе OP' , а не OP , и измѣренная толщина шлифа окажется меньше дѣйствительной.

Легко видѣть, что

$$OR = OP \cdot \operatorname{tg} r = OP' \cdot \operatorname{tg} i, \text{ откуда}$$

$$OP = OP' \cdot \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r}.$$

Такъ какъ обыкновенно при этомъ способѣ примѣняются сильные объективы съ узкой апертурой, а выбираемые частицы имѣютъ незначительную величину и помѣщаются въ центрѣ поля зрѣнія, то углы r и i имѣютъ очень малую величину. Поэтому можно приведенную формулу представить слѣдующимъ образомъ:

$$OP = OP' \cdot \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r} = OP' \cdot \frac{\sin i}{\sin r} = OP' \cdot \frac{n}{\mu},$$

гдѣ n и μ обозначаютъ показатели преломленія минерала и окружающей среды, причемъ, если не примѣняется иммерзійная система, то $\mu = 1$.

Такъ какъ изслѣдуемый минераль всегда можетъ быть приблизительно опредѣленъ, то и численное значеніе n обыкновенно бываетъ болѣе или менѣе извѣстнымъ. Изъ формулы видно, что ошибка въ опредѣленіи показателя преломленія минерала тѣмъ менѣе отзовется на результатъ измѣреній, чѣмъ больше показатель преломленія окружающей среды.

При употребленіи сильно преломляющихъ жидкостей ошибки въ 0,1 уже не вліяютъ совершенно на результаты измѣреній.

Если минераль обладаетъ очень большимъ двупреломленіемъ, то въ формулу вставляется показатель преломленія того луча, который колеблется по направленію, совпадающему съ главнымъ сѣченіемъ поляризатора.

Описанный способъ опредѣленія толщины шлифа непримѣнимъ собственно для Федороваго столика, гдѣ можно пользоваться сравнительно слабыми объективами.

§ 37. Способъ Никитина.

Зато универсально оптическій методъ изслѣдованія породообразующихъ минераловъ далъ новый способъ опредѣленія толщины шлифа, требующій, правда, чтобы въ изслѣдуемомъ зернѣ была какая-нибудь трещинка или вростокъ тонкой пластиночки другого минерала, проходящій черезъ всю толщину шлифа.

Измѣреніе послѣдней основывается на слѣдующемъ¹⁾. Пусть e (фиг. 31)—толщина шлифа, AB —трещинка, прорѣзывающая его, BZ —линія, параллельная оси микроскопа, и BN —нормаль къ плоскости шлифа. При показанномъ на фигурѣ положеніи послѣдняго трещинка будетъ представляться въ видѣ полоски, ограниченной слѣдами A и B трещины на верхней и нижней поверхностяхъ шлифа. Пусть уголъ, образуемый плоскостью трещинки съ нормалью къ шлифу $\angle DBA = \rho$, и уголъ между этой нормалью и осью микроскопа— $\angle NBZ = \varphi$.

Изъ треугольника ABC имѣемъ, что

$$\frac{d}{s} = \sin \angle BAC. \quad \text{Но}$$

$$\angle BAC = 90^\circ - \angle CBA, \text{ и}$$

$$\angle EBC + \angle ABD = 90^\circ - \angle CBA.$$

Слѣдовательно,

$$\angle BAC = \angle EBC + \angle ABD = \varphi + \rho.$$

Такимъ образомъ $\frac{d}{s} = \sin (\varphi + \rho)$.

¹⁾ В. В. Никитинъ. Нѣкоторые новые приборы etc. Зап. Горн. И-та. I. 1907; 48—50.

Но если для общности придавать разные знаки угламъ, отвѣчающимъ выведенію шлифа въ разныя стороны изъ горизонтальнаго положенія, то послѣднюю формулу нужно изобразить такъ:

$$\frac{d}{s} = \sin (\varphi - \rho).$$

Наконецъ, изъ треугольника ABD толщина шлифа:

$$e = s \cos \rho = \frac{d \cdot \cos \rho}{\sin (\varphi - \rho)}.$$

Величины, входящія въ послѣднее выраженіе, опредѣляются слѣдующимъ образомъ. Прежде всего уголъ ρ измѣряется способомъ, описаннымъ при установкѣ плоскостей спайности.

Что касается угла φ , то онъ опредѣляется также просто непосредственнымъ отсчетомъ на вертикальномъ лимбѣ при томъ положеніи столика, при которомъ измѣряется видимая проекція трещинки d . При численномъ значеніи угловъ ставится тотъ или другой знакъ въ зависимости отъ направленія вращенія столика около оси J . Опредѣленіе ширины трещинки s —тѣмъ точнѣе, чѣмъ меньше уголъ CBA , т. е. чѣмъ ближе трещинка подведена къ горизонтальной плоскости, ибо тогда уголъ BAC , входящій въ формулу, достигаетъ наибольшаго значенія, такъ что *sinus* его измѣняется въ болѣе широкихъ предѣлахъ; но при слишкомъ большихъ наклоненіяхъ около оси J края трещинки становятся трудно различимыми. Вообще, предѣлъ величины угла между осью микроскопа и плоскостью трещинки, при которомъ еще возможно измѣреніе ея ширины, иногда не больше 20° — 30° и только очень рѣдко достигаетъ 60° . Этотъ предѣлъ зависитъ отъ прозрачности шлифа и рѣзкости трещинки.

Самое измѣреніе d производится при помощи винтового окуляр-микрометра или ранѣе описаннаго *Compensator-ocular*'а. Въ первомъ приборѣ одна система параллельныхъ нитей перемѣщается въ своей плоскости при вращеніи особаго винта, снабженнаго лимбомъ. Если употребляютъ объективъ № 2, то обыкновенно передвиженіе нити окуляр-микрометра, отвѣчающее повороту винта послѣдняго на одно дѣленіе, измѣряется $0,00036$ — 40 *mm*. Эту константу прибора легко установить непосредственнымъ измѣреніемъ *objekt-mikrometer*'а, наложеннаго на столикъ. Итакъ, чтобы опредѣлить длину d , совмѣщаемъ нить окуляр-микрометра съ однимъ краемъ трещинки, замѣчая при этомъ дѣленіе лимба микрометра. Затѣмъ передвигаемъ нить до другого края трещинки, или проекціи его, и разность отсчетовъ, умноженная на „число“ прибора, дастъ искомую величину.

При вычисленіи выше приведенной формулы необходимо дѣлать нѣкоторыя поправки. Такъ, если показатель преломленія минерала отличается отъ таковаго стеклянныхъ сегментовъ, то величина угловъ ρ и φ должна быть исправлена по діаграммѣ фиг. 6-ой.

Впрочемъ, уголь оставляется безъ измѣненія, если трещинка является зіяющею. Но въ послѣднемъ случаѣ должна быть исправлена измѣренная величина d . На фигурѣ 32-ой видно, что CB , проекція трещинки на плоскость, перпендикулярную оси микроскопа, не равна измѣряемой видимой ширинѣ ея стѣнокъ d . Если при горизонтальномъ положеніи препарата измѣрить окуляр-микрометромъ зіяніе трещины σ , то $CB = d - \sigma \cdot \cos \varphi$.

Отсюда истинная толщина шлифа:

$$e = \frac{(d - \sigma \cos \varphi) \cos \rho}{\sin (\varphi - \rho)}.$$

Изъ формулы видно, что изъ всѣхъ величинъ, входящихъ въ послѣднюю, главное вниманіе нужно обращать на измѣреніе d . Но и при безусловно правильныхъ опредѣленіяхъ всѣхъ элементовъ можетъ получиться далеко не вѣрный результатъ. Это происходитъ или оттого, что трещинка не проходитъ черезъ всю толщину шлифа, или потому, что края стѣнокъ трещины нѣсколько обломались при изготовленіи препарата, вслѣдствіе чего измѣряемая ширина σ окажется преувеличенной. Впрочемъ, если выбирать трещинки съ правильными стѣнками и съ достаточнымъ разстояніемъ между ними, то можно быть болѣе или менѣе гарантированнымъ отъ ошибокъ, вызываемыхъ послѣдними обстоятельствами.

Во всякомъ случаѣ описанный способъ опредѣленія толщины шлифа не можетъ имѣть общаго значенія, такъ какъ примѣненіе его зависитъ отъ случайнаго нахожденія въ изслѣдуемомъ зернѣ подходящихъ трещинки или включенія.

Опредѣленіе величины двупреломленія.

§ 38. а) Прямымъ путемъ.

Итакъ, нами описаны отдѣльные приемы оптическаго изслѣдованія, примѣняемые при опредѣленіи величины двупреломленія. Въ общемъ случаѣ послѣдняя задача состоитъ въ опредѣленіи разности хода лучей, колеблющихся по выбраннымъ направленіямъ, и толщины шлифа. Обыкновенно величина двупреломленія относится къ осямъ наибольшей и наименьшей упругости, но въ случаѣ двуоснаго кристалла иногда бываетъ необходимымъ найти и двѣ другія характерныя величины двупреломленія: $(n_g - n_m)$ и $(n_m - n_p)$. Передъ опредѣленіемъ разности хода нужно привести выбранныя оси упругости въ плоскость, перпендикулярную оси микроскопа. Съ этой цѣлью устанавливаютъ обычнымъ порядкомъ плоскость упругости, полюсомъ которой является одна изъ этихъ осей, совмѣщаемая такимъ образомъ съ осью столика J . Затѣмъ по правиламъ, изложеннымъ въ главѣ объ опредѣленіи осей упругости, и вторая ось приво-

дится въ горизонтальную плоскость. Теперь, при измѣреніи разности хода помощью компенсатора, нужно повернуть столикъ микроскопа ровно на 45° такъ, чтобы по направленію прорѣза лежала большая ось упругости, ибо во всѣхъ компенсаторахъ съ этимъ направленіемъ совпадаетъ меньшая ось.

При употребленіи компараторовъ точная ориентировка столика микроскопа не обязательна, а нужно только добиваться одинаковой интенсивности освѣщенія. Тѣмъ или другимъ путемъ опредѣляется искомая разность хода p . Наконецъ, однимъ изъ вышеописанныхъ способовъ измѣряется толщина шлифа e .

Согласно опредѣленію понятія величины двупреломленія, послѣдняя $= \frac{p}{e_1}$, гдѣ e_1 представляетъ толщину того слоя минерала, черезъ который проходятъ лучи свѣта. Очевидно, e_1 зависитъ отъ наклона препарата около осей H и J и равняется $\frac{e}{\cos H \cdot \cos J}$.

Такимъ образомъ искомая величина

$$x = \frac{p \cdot \cos H \cdot \cos J}{e}.$$

§ 39. в) Помощью вспомогательнаго минерала.

Если въ шлифѣ рядомъ съ изслѣдуемымъ минераломъ находится зерно другого минерала, величина двупреломленія котораго въ точности известна, то, принимая толщину пластинокъ обоихъ минераловъ одинаковой, можемъ изъ сравненія разностей хода послѣднихъ вывести искомую величину двупреломленія даннаго минерала.

Обозначивъ послѣднюю черезъ x , соотвѣтствующія разности хода даннаго и вспомогательнаго минераловъ черезъ p_1 и p_2 и толщину шлифа черезъ e и принявъ во вниманіе наклонъ препарата около осей H и J имѣемъ

$$p_1 = x \cdot \frac{e}{\cos H \cdot \cos J_1} \text{ и } p_2 = (n_g - n_p) \cdot \frac{e}{\cos H_2 \cdot \cos J_2}.$$

$$\text{Отсюда } \frac{p_1}{p_2} = \frac{x}{(n_g - n_p)} \cdot \frac{\cos H_2 \cdot \cos J_1}{\cos H_1 \cdot \cos J_2}, \text{ и}$$

$$= \frac{p_1}{p_2} \cdot (n_g - n_p) \cdot \frac{\cos H_1 \cdot \cos J_2}{\cos H_2 \cdot \cos J_1}.$$

Въ качествѣ вспомогательнаго минерала можно принять большую частью только одинъ кварцъ, который имѣетъ постоянный составъ и вообще не измѣняется. Чтобы подставить въ формулу значеніе величины двупреломленія кварца $n_g - n_p = 0,009$, необходимо оптическую ось этого минерала уложить на горизонтальную плоскость, но это, какъ мы видѣли выше, не всегда удастся. Въ этомъ случаѣ нужно поступать слѣду-

ющимъ образомъ. Совмѣщаемъ съ плоскостью симметріи микроскопа главное сѣченіе кварца, изображенное на фиг. 33-ей соответствующимъ эллипсомъ упругости $A_1B_1A_2B_2$.

Положимъ, что при наклоненіи препарата около оси столика J оптическая ось A_1A_2 , занимая крайнее положеніе, образуетъ съ горизонтальною плоскостью уголъ φ , который легко опредѣлить на рабочей сѣткѣ.

При данномъ положеніи препарата будетъ измѣрена разность хода лучей, колеблющихся въ сѣченіи B_1B_2 по вектору OB_2 и оси n_p .

Исходя изъ уравненія эллипса, можемъ написать, что

$$OB_2 = \frac{n_g \cdot n_p}{\sqrt{n_g^2 \sin^2 \varphi + n_p^2 \cos^2 \varphi}}.$$

Если еще принять во вниманіе, что при установкѣ главнаго сѣченія кварца не нужно дѣлать наклона около оси H , то вышеприведенная формула приметъ видъ:

$$x = \frac{p_1}{p_2} \cdot n_p \cdot \left(\frac{n_g}{\sqrt{n_g^2 \sin^2 \varphi + n_p^2 \cos^2 \varphi}} - 1 \right) \cdot \frac{\cos H_1 \cos J_1}{\cos J_2},$$

гдѣ для кварца $n_g = 1.556$
 $n_p = 1.547$.

При выводеніи величины OB_2 мы предполагали, что необыкновенный лучъ остается нормальнымъ къ сѣченію B_1B_2 , что вообще неправильно. Разсмотримъ поэтому, какова ошибка, вытекающая изъ такого нашего предположенія.

Если необыкновенный лучъ отклонится отъ первоначальнаго направленія, такъ что соответствующій векторъ упругости OC будетъ составлять съ оптической осью уголъ ξ , то, по формулѣ *Liebis*¹⁾,

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{n_g^2}{n_p^2} \operatorname{tg} \varphi.$$

Нѣтъ сомнѣнія, что уголъ φ не можетъ превышать 30° , потому что въ противномъ случаѣ оптическая ось можетъ быть совмѣщена съ плоскостью, перпендикулярною оси микроскопа. Если это — такъ, то подставляя значеніе величинъ, входящихъ въ правую часть уравненія, получимъ $\xi = 30^\circ 17'$.

Такимъ образомъ ошибка не превышаетъ точности прибора, почему ею можно совершенно пренебречь.

Обращаясь теперь къ самому способу опредѣленія величины дву-преломленія, нужно сказать, что онъ имѣетъ еще болѣе ограниченное примѣненіе, чѣмъ вышеописанный прямой методъ, но по сравненію съ послѣднимъ является болѣе точнымъ, такъ какъ при немъ избѣгаются ошибки, происходящія отъ измѣренія толщины шлифа.

¹⁾ *H. Rosenbuch. Mikroskopische Physiographie* I., 1904; s. 74.

§ 40. *Опредѣленіе величины двупреломленія по способу М. Леви.*

Слѣдующій способъ позволяетъ довольно точно и быстро опредѣлить величину двупреломленія безъ помощи компаратора, но при томъ условіи, если извѣстна толщина шлифа. Способъ состоитъ въ наблюденіи интерференціоннаго цвѣта изслѣдуемаго минерала, соотвѣтствующаго разности хода лучей, колеблющихся по выбраннымъ направленіямъ, и въ сравненіи его съ особою хроматическою таблицею, построенною М. Леви. На этой таблицѣ ¹⁾, схема которой изображена на фиг. 34-ой, на оси ординатъ отложенъ рядъ обычно встрѣчающихся значеній толщины шлифа, а по оси абсциссъ—разности хода, выраженные въ миллионныхъ доляхъ миллиметра; Ньютоновы цвѣта, соотвѣтствующіе этимъ разностямъ хода, слѣдуютъ въ возрастающемъ порядкѣ слѣва направо въ видѣ вертикальныхъ столбцовъ. Употребленіе таблицы состоитъ въ слѣдующемъ. Зная толщину пластинки минерала e , слѣдимъ по соотвѣтствующей горизонтальной прямой до того мѣста, гдѣ изображенъ интерференціонный цвѣтъ, наблюдаемый въ минералѣ, и получаемъ опредѣленную абсциссу, отвѣчающую дѣйствительной разности хода p .

Тогда искомая величина двупреломленія $x = \frac{e}{p}$.

Конечно, при работѣ на Федоровскомъ столикѣ толщину шлифа нужно исправить на наклонъ около осей H и J , т. е. брать не истинную

$$\text{величину } e_0, \text{ а } e = \frac{e_0}{\cos H \cdot \cos J}, \text{ такъ что}$$

$$x = \frac{p \cdot \cos H \cdot \cos J}{e_0}.$$

Чтобы не дѣлать каждый разъ вычисленій, на таблицѣ имѣются нѣкоторыя добавленія.

Придавши выше приведенной формулѣ видъ $\frac{e}{p} = \frac{1}{x}$, мы видимъ, что различныя значенія координатъ, соотвѣтствующія одной и той же величинѣ двупреломленія, даютъ точки, лежащія на одной прямой, проходящей черезъ начало координатныхъ осей. Поэтому, получивши на таблицѣ точку, мы соединяемъ её съ началомъ координатъ прямой, которую продолжаемъ до пересѣченія съ верхней или правой стороной таблицы, гдѣ проставлены соотвѣтствующія величины двупреломленія.

Изъ таблицы видно, что при малой разности хода и при небольшой толщинѣ шлифа опредѣленіе величины двупреломленія по этому способу будетъ очень неточно, потому что на этомъ участкѣ указанныя прямыя сильно скучиваются. И вообще этотъ методъ можно употреблять только при предварительныхъ изслѣдованіяхъ, когда толщина шлифа извѣстна лишь приблизительно.

Въ заключеніе нужно отмѣтить, что таблица М. Леви позволяетъ опредѣлить толщину пластинки минерала, если извѣстна величина его двупреломленія, такъ какъ эта задача обратна предыдущей.

¹⁾ Приложена ко многимъ руководствамъ по кристаллографіи.

Г л а в а III.

Опредѣленіе отношенія между оптическими и кристаллографическими элементами минераловъ.**Изслѣдованіе двойниковъ.**

До сихъ поръ мы рассматривали оптическія константы, характеризующія свойства минераловъ, какъ физическихъ тѣлъ. Теперь мы перейдемъ къ такимъ константамъ, которыя выражаютъ пространственныя соотношенія элементовъ минераловъ. Чтобы можно было опредѣлить эти отношенія, изслѣдуемое зерно должно обладать хотя одной гранью или одной плоскостью опредѣленной спайности, и это обстоятельство сильно суживаетъ сферу микроскопическихъ изслѣдованій подобнаго рода.

Творецъ универсальнаго метода *Е. С. Федоровъ* далъ средство находить указанные отношенія между оптическими и кристаллографическими элементами минераловъ даже въ отсутствіи вышеуказанныхъ плоскостей. Это средство заключается въ изученіи двойниковыхъ образований, присутствіе которыхъ въ изслѣдуемомъ зернѣ минерала является единственнымъ ограничивающимъ условіемъ.

Такъ какъ опредѣленіе двойниковыхъ образований является однимъ изъ самыхъ существенныхъ дериватовъ универсально-оптического метода изслѣдованія, то на двойниковыхъ законахъ нужно остановиться подробно.

§ 41. Образованіе и типы двойниковъ.

Двойникомъ называется кристаллъ¹⁾, состоящій изъ двухъ индивидуальныхъ, имѣющихъ общими какую-нибудь плоскость и, по крайней мѣрѣ, одно направленіе, находящееся въ послѣдней. Это условіе будетъ выполнено только въ томъ случаѣ, если одинъ индивидъ выводится изъ другого какимъ нибудь изъ трехъ нижеслѣдующихъ пріемовъ:

- 1) вращеніемъ на 180° около прямой, называемой двойниковой осью;
- 2) зеркальнымъ отраженіемъ въ нѣкоторой плоскости, называемой двойниковой плоскостью; и
- 3) тѣмъ или другимъ изъ предыдущихъ способовъ, приводящихъ къ одному результату.

Эти три закона различаются только при томъ условіи, если принимаются во вниманіе всѣ вообще физическія свойства минерала, среди которыхъ многія зависятъ отъ направленія вектора, изображающаго соответствующее свойство. Если же рассматривать кристаллъ съ точки зрѣнія только оптическихъ или другихъ однородныхъ съ послѣдними свойствъ, находящихся свое внѣшнее выраженіе въ самомъ общемъ слу-

¹⁾ *G. Tschermack. Zur Theorie der Zwillingskrystalle. Tscherm. Min. Mitth. 2, 1880; 499—522.*

чаѣ въ видѣ эллипсоида о трехъ осяхъ, то всѣ три закона образованія двойниковъ сводятся, очевидно, къ одному, характеризующему одновременно присутствіемъ двойниковой плоскости и перпендикулярной къ ней двойниковой оси. Поэтому, между прочимъ, при микроскопическомъ изслѣдованіи кристалловъ многія разновидности двойниковъ, образованныхъ по двумъ первымъ законамъ не могутъ быть вообще отмѣчены.

Опредѣленіе минераловъ помощью наблюденія двойниковаго образованія основывается на тѣхъ пространственныхъ соотношеніяхъ, которыя существуютъ между осями упругости кристалла и элементами двойника, главнымъ образомъ двойниковою осью, и на кристаллографическомъ значеніи послѣднихъ. Чтобы понять, какое положеніе въ кристаллѣ могутъ занимать элементы двойника, нужно остановиться на теоріи двойниковаго образованія, которую въ краткихъ чертахъ можно изложить слѣдующимъ образомъ.

Исходя изъ теоріи молекулярнаго строенія кристаллическаго вещества, мы можемъ представить себѣ однородный кристаллъ состоящимъ изъ мельчайшихъ физическихъ, или кристаллическихъ частицъ, расположенныхъ параллельно другъ другу и образующихъ въ совокупности т. н. пространственную рѣшетку. Видъ послѣдней опредѣляется силами сцѣпленія, дѣйствующими между отдѣльными частицами. Въ общемъ случаѣ величина силъ сцѣпленія мѣняется съ направлениемъ, причемъ можетъ быть нѣсколько *maximum*'овъ и *minimum*'овъ ихъ.

Пусть на фиг. 35-ой OA , OB и OC представляютъ векторы трехъ такихъ особенныхъ значеній силъ сцѣпленія, изъ которыхъ OA и OB отвѣчаютъ двумъ *maximum*'амъ, опредѣляющимъ собою плоскость, которая будетъ имѣть наибольшее кристаллографическое значеніе. При образованіи минерала каждая вновь отлагающаяся частица стремится занять такое положеніе, чтобы ея оси наибольшаго сцѣпленія были параллельны соотвѣтствующимъ направленіямъ въ уже образовавшемся кристаллѣ. При этомъ можетъ быть нѣсколько различныхъ случаевъ.

1) Всѣ три особенныя направленія остаются параллельными. Въ этомъ случаѣ, очевидно, частицы располагаются совершенно параллельно другъ другу, и образуется обыкновенный однородный кристаллъ.

Появленіе и развитіе граней послѣдняго будетъ зависѣть главнымъ образомъ отъ соотношенія силъ сцѣпленія, дѣйствующихъ по различнымъ направленіямъ. Такъ, мы въ правѣ ожидать, что наибольшаго развитія достигнетъ плоскость AOB , въ которой молекулярная сѣтка обладаетъ наибольшею плотностью.

Если по направленію OC сила сцѣпленія будетъ не велика, то указанная плоскость можетъ проявиться въ видѣ плоскости спайности.

2) При извѣстныхъ условіяхъ кристаллизаціи можетъ наступить другое состояніе равновѣсія, при которомъ направленія главныхъ силъ сцѣпленія OA и OB останутся совмѣщенными, но сами вновь отлагающіяся частицы будутъ повернуты на 180° около оси OR , перпендикулярной плоскости, образуемой этими направленіями.

Если измѣнившіяся условія кристаллизаціи окажутся постоянными, то эти частицы будутъ дѣйствовать на вновь отлагающіяся такимъ образомъ, чтобы послѣднія заняли совершенно параллельное имъ положеніе, и въ результатъ получится кристаллъ, состоящій изъ двухъ индивидовъ, сросшихся между собою по двойниковому закону, опредѣляемому двойниковою осью OR . Такъ какъ въ самомъ общемъ случаѣ, относящемся главнымъ образомъ къ кристалламъ триклинной сингоніи, только плоскость OAB , какъ содержащая направленія наибольшихъ силъ сцѣпленія, будетъ имѣть кристаллографическое значеніе, то выведенныя двойниковыя образованія опредѣляютъ *1-й типъ*, въ которомъ двойниковая ось есть нормаль къ возможной грани кристалла.

Въ кристаллахъ болѣе высокихъ степеней симметріи, характеризующихъ присутствіемъ прямыхъ угловъ между кристаллографическими элементами, и двойниковая ось можетъ быть возможнымъ ребромъ кристалла, но самый кристаллъ теряетъ уже двойниковый характеръ для большей части физическихъ свойствъ.

3) Наконецъ, отношенія между силами сцѣпленія при данныхъ условіяхъ кристаллизаціи могутъ быть таковы, что у вновь отлагающихся частицъ общимъ съ уже отложившимися частицами будетъ только одно направленіе наибольшей силы сцѣпленія. При этомъ можетъ быть нѣсколько частныхъ случаевъ.

а) Осью вращения окажется то же направленіе наибольшей силы сцѣпленія, напримѣръ OA . Если уголъ вращения будетъ произвольнымъ, то получится только параллельное срастаніе двухъ индивидовъ, представляющее въ сущности уклоненіе въ ростъ однороднаго кристалла. Такое срастаніе, возможное теоретически, часто встрѣчается въ дѣйствительности, и полевые шпаты въ этомъ отношеніи могутъ дать много интересныхъ примѣровъ¹⁾.

Изъ массы случаевъ подобнаго срастанія наибольшее для насъ значеніе имѣетъ тотъ, когда уголъ поворота около упомянутой оси равняется 180° , ибо только тогда мы можемъ говорить о двойниковомъ образованіи.

Этотъ второй типъ двойниковъ отличается отъ вышеразобраннаго еще тѣмъ, что при немъ реальное осуществленіе въ самомъ общемъ случаѣ находитъ уже двойниковая ось, какъ совпадающая съ направленіемъ наибольшей силы сцѣпленія. Такимъ образомъ во *2-мъ типѣ двойниковая ось есть возможное ребро кристалла*.

Конечно, въ кристаллахъ болѣе или менѣе высокихъ степеней симметріи часто встрѣчаются взаимноперпендикулярныя ребра и грани, такъ что тамъ этотъ типъ двойниковъ сводится не рѣдко къ первому типу.

в) При отложеніи частицъ второго индивида кристалла совмѣщеніе наибольшей оси сцѣпленія OA можетъ быть достигнуто еще вращеніемъ частицъ на 180° около прямой, перпендикулярной этой оси. Существу-

¹⁾ А. Lacroix. Minéralogie de la France et de ses colonies II, 1897; pp. 79, 90—92.

еть цѣлый рядъ такихъ прямыхъ, геометрическое мѣсто которыхъ представляетъ плоскость, перпендикулярную оси OA , и многія изъ этихъ прямыхъ могутъ послужить къ образованію двойниковъ, лишь бы плоскость, въ которой лежатъ эта прямая и ось OA имѣла кристаллографическое значеніе. Очевидно, среди массы такихъ двойниковъ больше шансовъ на существованіе будетъ имѣть тотъ, у индивидовъ котораго общей является плоскость, содержащая наибольшія оси сцѣпленія, ибо при этомъ условіи скорѣе всего наступитъ равновѣсіе при образованіи кристалла.

Выведенному условію удовлетворяетъ собственно одна прямая OS , такъ что *въ 3-мъ типѣ двойниковая ось нормальна къ возможному ребру и лежитъ въ возможной плоскости кристалла*. Этотъ типъ также встрѣчается главнѣйше въ триклинной сингоніи, такъ какъ въ кристаллахъ болѣе высокой степени симметріи онъ сведется къ уже извѣстнымъ намъ случаямъ.

Выведенные три типа двойниковыхъ образованій характеризуются взаимной перпендикулярностью относящихся къ нимъ двойниковыхъ осей, вслѣдствіе чего каждый изъ нихъ можетъ быть выведенъ изъ двухъ другихъ, если допустить, что второй индивидъ двойника подвергается послѣдовательному вращенію на 180° около осей, соотвѣтствующихъ этимъ двумъ типамъ. Конечно, это представленіе имѣетъ чисто геометрическое значеніе, такъ какъ кристаллическая частица при своей ориентировкѣ едва-ли имѣетъ возможность подвергаться такому сложному передвиженію.

Собственно говоря, сказаннымъ исчерпываются всѣ случаи двойниковыхъ образованій, допустимыхъ теоретически при построеніи кристалловъ изъ совершенно однородныхъ физическихъ частицъ въ томъ предположеніи, что послѣднія располагаются или параллельно другъ другу или—по крайней мѣрѣ—такъ, что *главная при данныхъ условіяхъ кристаллизаціи плоскость силъ сцѣпленія и одно направленіе, лежащее въ этой плоскости, остаются параллельными*.

Но наблюденія ¹⁾ показали, что возможенъ еще четвертый типъ двойниковыхъ образованій. Если представить себѣ, что два главныя направленія силъ сцѣпленія, лежація въ данной плоскости, имѣютъ почти одинаковое значеніе, то равновѣсіе наступитъ и въ томъ случаѣ, если при образованіи двойного кристаллическаго срастанія совпадаютъ эти разнотенныя направленія индивидовъ послѣдняго. Это совпаденіе произойдетъ, очевидно, при томъ условіи, если осью вращенія явится прямая, дѣлящая пополамъ уголъ между означенными направленіями. Съ геометрической точки зрѣнія это образованіе можно, по справедливости, называть двойниковымъ, и такимъ образомъ *въ 4-омъ типѣ двойниковая ось лежитъ въ возможной грани и дѣлитъ пополамъ углы между возможными ребрами кристалла, находящимися въ этой грани*.

¹⁾ W. Brögger. Mineralien der südnorwegischen Augitsyenite Z. f. Kr. 16, 1890; 38.

Итакъ всѣ двойники въ самомъ общемъ случаѣ могутъ быть образованы при помощи одной только двойниковой оси, которая является основнымъ элементомъ этихъ образований.

Перпендикулярная къ этой оси двойниковая плоскость присоединяется или въ кристаллахъ болѣе высокихъ степеней симметріи или при разсмотрѣніи физическихъ свойствъ, функціи которыхъ имѣютъ простой видъ.

Но можетъ быть еще особый типъ кристаллическихъ образований, опредѣляемый одною двойниковою плоскостью, являющеюся плоскостью симметріи всего кристалла. Въ этомъ случаѣ, очевидно, индивиды двойника состоятъ изъ энантиоморфныхъ частицъ, обладающихъ нѣсколько различными свойствами, и потому данное образование не можетъ быть отнесено къ настоящимъ двойникамъ ¹⁾.

Нужно сказать, что среди порообразующихъ минераловъ этотъ видъ кристаллическаго срастанія встрѣчается очень рѣдко и для петрографа не имѣетъ значенія.

Какіе же изъ выведенныхъ типовъ двойниковъ чаще должны встрѣчаться?

Если однородные кристаллы, состоящіе изъ параллельныхъ частицъ, встрѣчаются чаще, чѣмъ двойники, то и среди послѣднихъ въ борьбѣ за существованіе одержитъ верхъ такой, у индивидовъ котораго будетъ больше общихъ элементовъ. Поэтому порядокъ обозначенія типовъ будетъ отвѣчать степени ихъ распространенности. Правда, 2-ой и 3-ий типы имѣютъ какъ-будто одинаковыя права на существованіе, но въ послѣднемъ главная ось сцѣпленія одного индивида двойника хотя и параллельна соотвѣтствующей оси другого индивида, но имѣетъ обратное направленіе, благодаря вращенію на 180° около прямой, къ ней перпендикулярной, вслѣдствіе чего самое двойниковое образование является менѣе устойчивымъ.

Что касается формъ проявленія двойниковыхъ образований, то онѣ могутъ быть весьма разнообразными.

Въ разобранномъ выше случаѣ предполагается, что въ концѣ образования одного индивида двойника условія кристаллизаціи нѣсколько изменились, и сталъ выкристаллизовываться другой индивидъ.

Но образованіе двойниковъ можетъ обуславливаться и другими обстоятельствами, напримѣръ, поверхностнымъ натяженіемъ кристалла ²⁾, и тогда этотъ процессъ можетъ происходить при исполнѣ постоянныхъ условій такъ, что будутъ развиваться одновременно оба индивида.

Послѣднее обстоятельство у многихъ минераловъ, особенно плагиоклазовъ, имѣетъ, по всей вѣроятности, доминирующее значеніе, такъ какъ эти минералы извѣстны вообще только въ видѣ двойниковъ. Усло-

¹⁾ *H. Baumhauer*. Beiträge zur Kenntniss und Theorie der Zwillingsbildung an Krystallen. Z. f. Kr. 31, 1899; s. 252.

²⁾ *В. Вернадскій*. Къ физической теоріи кристаллическихъ двойниковъ. Изв. Акад. Наукъ, 1907; 335—552.

вія образованія кристалловъ могутъ измѣняться неоднократно, и это отразится въ томъ, что послѣдніе будутъ состоять изъ нѣсколькихъ индивидуальныхъ, сросшихся между собою попеременно или по одному и тому же или по разнымъ двойниковымъ законамъ и образующихъ т. н. полисинтетическіе и полигеновые двойники.

Въ зависимости отъ состоянія среды, въ которой происходитъ кристаллизація, срастаніе отдѣльныхъ индивидуальныхъ двойниковъ можетъ происходить весьма различнымъ образомъ и по различнымъ плоскостямъ, даже поверхностямъ самаго неправильнаго вида. Но существуютъ обычно свойственныя тому или другому роду двойниковаго образованія особыя плоскости, по которымъ предпочтительно и срастаются или прорастаютъ другъ друга индивиды двойника.

Эти плоскости совпадаютъ съ плоскостями наибольшихъ силъ сцѣпленія, общими для обоихъ индивидуальныхъ, и потому достигаютъ наибольшаго развитія, опредѣляя тѣмъ общій *habitus* кристалла.

Такъ, въ первомъ типѣ двойниковъ такою плоскостью явится плоскость, перпендикулярная двойниковой оси.

Во 2-мъ типѣ плоскость, общая обоимъ индивидамъ, не имѣетъ большаго кристаллографическаго значенія, поэтому срастаніе бываетъ болѣею частью неопредѣленнымъ, а самый кристаллъ развивается по направленію оси наибольшей силы сцѣпленія, общей обоимъ индивидамъ и совпадающей съ ребромъ послѣднихъ.

Въ 3-мъ типѣ и ось наибольшаго сцѣпленія и двойниковая ось лежатъ въ возможной плоскости, которая и будетъ плоскостью срастанія и наибольшаго развитія индивидуальныхъ двойника.

Расположеніе элементовъ двойниковъ 4-го типа приближается къ такому предыдущаго типа, но благодаря почти одинаковому значенію двухъ осей сцѣпленія, самый кристаллъ является болѣе или менѣе изометричнымъ.

Абсолютные и относительные размѣры отдѣльныхъ индивидуальныхъ двойника колеблются въ большихъ предѣлахъ и не рѣдко спускаются до микроскопической величины. Многіе полисинтетическіе двойники особенно 1-го и 3-го типовъ представляютъ часто пакетъ тончайшихъ пластинокъ, различимыхъ иногда только при большихъ увеличеніяхъ; нѣкоторые минералы, какъ лейцитъ и микроклинъ, состоятъ изъ почти субмикроскопическихъ пластинокъ, сросшихся по различнымъ законамъ и т. д. Съ другой стороны извѣстны минералы, дающіе только простые двойники съ равномерно развитыми индивидами; эти двойники по большей части относятся къ 2-му и 4-му типамъ.

Вообще кромѣ химической природы минерала и условій кристаллизаціи на внѣшній видъ двойниковаго образованія оказываетъ большое вліяніе законъ послѣдняго, такъ какъ съ этимъ связано развитіе тѣхъ или другихъ плоскостей и направленій. Эти двойниковые элементы, отвѣчающіе осямъ наибольшихъ силъ сцѣпленія, обычно совпадаютъ съ главными кристаллографическими элементами минерала, но иногда

въ зависимости отъ чисто мѣстныхъ условій кристаллизаціи отвѣчаютъ и второстепеннымъ элементамъ, имѣющимъ болѣе сложный индексъ.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что въ каждомъ минеральномъ видѣ, кроме обычныхъ для послѣдняго двойниковыхъ образований, всегда можно встрѣтить двойники болѣе или менѣе случайнаго происхожденія, изслѣдованіе которыхъ можетъ дать интересные результаты въ смыслѣ освѣщенія молекулярнаго строенія вещества и условій кристаллизаціи.

Нѣтъ сомнѣнія, что такіе двойники скорѣе всего и въ болѣемъ количествѣ могутъ быть встрѣчены среди составныхъ частей горныхъ породъ, поэтому точное и быстрое опредѣленіе двойниковаго образования въ шлифахъ горныхъ породъ имѣетъ большое значеніе.

Универсальный методъ, какъ никакой другой, даетъ возможность справиться съ этой задачей.

§ 42. *Опредѣленіе элементовъ двойниковаго образования.*

Какъ было указано выше, каждое двойниковое образование при оптическомъ изслѣдованіи кажется обладающимъ и двойниковою плоскостью и перпендикулярною къ ней двойниковою осью. Оба эти элемента могутъ быть легко опредѣлены на Федоровскомъ столикѣ. Дѣйствительно, двойниковая плоскость есть плоскость симметріи для частей оптического эллипсоида упругости, принадлежащихъ тому и другому индивиду двойника; поэтому, если означенную плоскость совмѣстить съ плоскостью симметріи микроскопа, то при вращеніи препарата около оси J оба индивиду будутъ просвѣтляться и затемняться одновременно, т. е. двойникъ какъ бы исчезнетъ.

Самая установка производится слѣдующимъ образомъ. Шлифъ наклеивается такъ, чтобы шовная линія, отдѣляющая одинъ индивиду двойника отъ другого, проходила черезъ пересѣченіе нитей окулярнаго креста. Такъ какъ плоскость срастанія двойника по большей части является и двойниковою плоскостью, то прежде всего шовную линію совмѣщаютъ съ вертикальною нитью креста и наклоненіемъ препарата около оси H и вращеніемъ столика вокругъ оси J пробуютъ, не наступитъ ли описанное выше явленіе. Если исчезновеніе двойника не происходитъ при всевозможныхъ наклоненіяхъ около оси H , то двойниковая плоскость занимаетъ, по всей вѣроятности, иное положеніе, чѣмъ плоскость срастанія, и приходится отыскивать её оцупью вращеніемъ препарата около оси N и наклоненіемъ возлѣ оси H .

Отсчеты координатъ найденной двойниковой плоскости и вычерчиваніе ея на сѣткѣ производятся извѣстнымъ порядкомъ. Въ примѣрѣ таблицы VIII двойниковая плоскость, изображаемая дугою DD^1 , была найдена по координатамъ: 2° , вправо 50° .

Если же эта плоскость занимаетъ положеніе, довольно близкое сѣченію шлифа, то она не можетъ быть наблюдаема, и потому сразу нужно обратиться къ отыскиванію двойниковой оси. Послѣдняя характери-

зуется тѣмъ, что при совмѣщеніи ея съ осью микроскопа, части эллипсоида упругости, принадлежащія индивидуамъ двойника, накладываются одна на другую по плоскости симметріи, перпендикулярной оси микроскопа. Поэтому, если послѣ такого совмѣщенія вращать столикъ послѣдняго, то двойникъ будетъ относиться къ поляризованному свѣту, какъ одинъ индивидъ.

Указанное совмѣщеніе производится, конечно, оцупью; опредѣленіе координатъ найденной оси и нанесеніе проекціи послѣдней описаны уже въ соотвѣтствующемъ мѣстѣ (§ 25).

На таблицѣ VIII проекція двойниковой оси $B_{1.2}$ найдена по координатамъ: 272° , къ себѣ 40° .

По этой точкѣ, какъ полюсъ двойниковой плоскости, можно было сразу начертить проекцію послѣдней—дугу DD^1 .

Описанный прямой путь нахождения элементовъ двойниковаго образования во многихъ отношеніяхъ является неудобнымъ и не всегда дающимъ точные результаты, не говоря уже о томъ, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ эти элементы совсѣмъ не поддаются наблюденію.

Гораздо плодотворнѣе оказывается другой методъ непрямого нахождения элементовъ двойника, преимущественно двойниковой оси, основанный на слѣдующемъ. По самому опредѣленію понятія двойника, всѣ однозначные элементы индивидовъ послѣдняго образуютъ одинаковые углы съ двойниковой осью, или, обратно, двойниковая ось дѣлитъ пополамъ углы, образуемые однозначными элементами индивидовъ двойника. Среди послѣднихъ наибольшее для насъ значеніе имѣютъ главные оси упругости n_g , n_m и n_p , которыя, какъ было выяснено ранѣе, могутъ быть легко найдены во всякомъ зернѣ минерала.

Такимъ образомъ, если двойниковая ось дѣлитъ пополамъ углы между одноименными осями упругости, то она представляетъ линію пересѣченія плоскостей, проходящихъ черезъ послѣднія. Это обстоятельство даетъ возможность быстро находить положеніе двойниковыхъ элементовъ по найденнымъ осямъ упругости и въ то же время повѣрить точность опредѣленія послѣднихъ, такъ какъ, по предыдущему, плоскости, проходящія черезъ одноименныя оси упругости, должны въ точности пересѣкаться въ одной линіи—двойниковой оси, которая затѣмъ можетъ быть уже найдена по извѣстнымъ координатамъ въ препаратѣ.

Разсмотримъ на примѣрѣ таблицы VIII, какъ это дѣлается. Не измѣняя нисколько положенія шлифа на внутреннемъ кругѣ столика, опредѣляемъ положеніе осей упругости для перваго индивида (I), обозначая ихъ черезъ n^1_g , n^1_m , n^1_p , и затѣмъ для втораго (II) съ соотвѣтственнымъ обозначеніемъ осей упругости черезъ n^2_g , n^2_m , n^2_p . Найденныхъ элементовъ уже достаточно, чтобы опредѣлить положеніе двойниковой оси, и дальнѣйшая работа ограничивается построеніями на сѣткѣ.

Для этого проводимъ дуги большихъ круговъ черезъ одноименные полюсы, что дѣлается по задачѣ 4-ой (§ 12). Въ данномъ случаѣ проведенныя дуги пересѣкаются точно въ точкѣ $B_{1.2}$, которая и будетъ пред-

ставлять полюсъ двойниковой оси; по послѣднему можно сразу же построить и проекцію двойниковой плоскости.

Остается теперь повѣрить, дѣйствительно ли наблюдаются въ данномъ двойникѣ найденные указаннымъ построениемъ элементы его. Обращаясь къ діаграммѣ, мы видимъ, что двойниковая плоскость занимаетъ положеніе, довольно близкое къ сѣченію шлифа, поэтому ее довольно трудно будетъ съ надлежащею точностью привести въ плоскость симметріи микроскопа; напротивъ, двойниковая ось гораздо легче можетъ быть совмѣщена съ осью послѣдняго. Для этого, согласно основаніямъ, изложеннымъ въ § 25-омъ, проводимъ діаметръ черезъ точку $B_{1,2}$ и совмѣщаемъ индексъ внутреннего круга столика съ дѣленіемъ, соотвѣтствующимъ показанію на окружности сѣтки одного изъ концовъ этого діаметра, наприимѣръ 272° .

Далѣе, отсчитываемъ по полярнымъ параллелямъ угловое разстояніе точки $B_{1,2}$ отъ центра сѣтки, соотвѣтствующаго проекціи оси микроскопа, и на то же число градусовъ отклоняемъ столикъ около оси J въ сторону, обратную наблюдаемой на сѣткѣ, т. е. отъ себя (отмѣченный конецъ діаметра долженъ быть обращенъ къ намъ). Тогда двойниковая ось должна совмѣститься съ осью микроскопа, что и повѣряется вращеніемъ столика послѣдняго.

Въ другихъ случаяхъ удобнѣе повѣрить двойниковую плоскость, которая отыскивается по координатамъ, отсчитаннымъ на діаграммѣ.

Итакъ, положеніе двойниковой оси опредѣлить довольно легко однимъ изъ выше указанныхъ способовъ.

Но для насъ интересна собственно не сама двойниковая ось, а тѣ углы, которые она образуетъ съ различными элементами кристалла, среди которыхъ наибольшее значеніе имѣютъ тѣ же оси упругости. Такъ какъ двойниковая ось является биссектрисою угловъ между одноименными направленіями обоихъ индивидовъ, то для насъ становится совершенно безразличнымъ, съ элементами какого индивида нужно имѣть дѣло.

Измѣреніе угловъ, образуемыхъ двойниковою осью съ осями упругости, или опредѣленіе координатъ этой оси относительно послѣднихъ, производится, конечно, скорѣе всего при помощи трехногого циркуля. Въ нашемъ примѣрѣ означенныя координаты имѣютъ слѣдующее значеніе:

$$\angle B_{1,2} \begin{cases} n_g = 37^\circ \\ n_m = 59^\circ \\ n_p = 72^\circ \end{cases}$$

Какъ видно, координаты представляютъ угловое разстояніе полюса двойниковой оси до соотвѣтствующей ближайшей оси упругости.

Описанный способъ опредѣленія координатъ двойниковой оси даетъ самые надежные результаты, но зато требуетъ и довольно много времени.

Съ цѣлью избѣжать послѣдняго данная задача можетъ быть значи-

тельно упрощена. Дѣйствительно, двойниковая ось дѣлитъ пополамъ углы между осями упругости, поэтому стоитъ только измѣрить эти углы, раздѣлить ихъ пополамъ,—и мы получимъ искомыя координаты, не находя точно положеніе двойниковой оси. При этомъ нужно лишь обращать вниманіе на то, лежитъ ли въ выбранномъ углу двойниковая ось (вѣдь пересѣкающіяся линіи образуютъ два различныхъ угла, изъ которыхъ только одинъ можетъ быть полностью изображенъ въ стереографической проекціи). Чтобы разрѣшить этотъ вопросъ, проводимъ мысленно дуги большихъ круговъ черезъ одноименные полюсы и находимъ въ ихъ пересѣченіи приблизительное положеніе двойниковой оси, что и облегчитъ намъ выборъ угловъ.

Обратимся къ нашему примѣру. Полагая, что положеніе двойниковой оси точно еще не найдено, мы указаннымъ путемъ сразу опредѣляемъ его около точки $B_{1.2}$. Изъ всѣхъ трехъ угловъ между осями упругости, которые могутъ быть непосредственно измѣрены на діаграммѣ, только уголъ $n_g^1 n_g^2$ содержитъ въ себѣ двойниковую ось и потому сразу даетъ соответствующую координату, если раздѣлить его пополамъ; двѣ другія координаты получатся отъ дѣленія пополамъ угловъ, дополнительныхъ къ $\angle n_m^1 n_m^2$ и $\angle n_p^1 n_p^2$ до 180° .

Все сказанное записывается на поляхъ сѣтки такимъ образомъ:

$$\begin{array}{l|l} \angle n_g^1 n_g^2 = 74^\circ & 74^\circ \\ \angle n_m^1 n_m^2 = 61^\circ & 119^\circ \\ \angle n_p^1 n_p^2 = 36^\circ & 144^\circ \end{array} \quad \text{и} \quad \angle B_{1.2} \left\{ \begin{array}{l} n_g = 37^\circ \\ n_m = 59.5^\circ \\ n_p = 72^\circ \end{array} \right.$$

Въ зависимости отъ того, какъ относится сѣченіе шлифа къ элементамъ двойника, можетъ представиться нѣсколько различныхъ случаевъ распредѣленія угловъ между осями упругости.

При различеніи этихъ угловъ можно еще принять во вниманіе, что въ конечномъ результатѣ одинъ изъ нихъ долженъ быть острымъ, а два другіе тупыми; кромѣ того нетрудно видѣть, что этотъ острый уголъ является наибольшимъ изъ всѣхъ острыхъ угловъ, образуемыхъ тремя парами одноименныхъ осей упругости.

Имѣя въ виду послѣднее обстоятельство, можно не искать даже и приблизительнаго положенія двойниковой оси, такъ какъ достаточно только измѣрить углы и, беря, если нужно, дополненіе до 180° , посмотреть, какой острый уголъ является наибольшимъ; переведя тогда два другіе угла въ тупые и дѣля всѣ углы пополамъ, мы находимъ координаты. Однако, необходимо не только находить, хотя бы приблизительно, положеніе двойниковой оси, но и повѣрять послѣднюю въ препаратѣ, такъ какъ иногда и при неправильномъ опредѣленіи осей упругости можетъ получиться расположеніе послѣднихъ, близкое къ условіямъ двойниковаго образованія.

Вообще, повѣрка въ препаратѣ найденной построеніемъ на діаграммѣ двойниковой оси имѣетъ рѣшающее значеніе; лишь въ слѣдующемъ частномъ случаѣ она можетъ привести иногда къ недоразумѣніямъ.

Пусть на фиг. 36-ой изображены оси упругости двойника, ось котораго, положимъ, совпадаетъ съ OB^1 .

Такъ какъ въ данномъ двойникѣ оси n^1_g и n^2_g сливаются, то двѣ другія пары осей упругости лежатъ въ одной плоскости, почему положеніе двойниковой оси, представляющей линію пересѣченія плоскостей, проходящихъ черезъ одноименныя оси упругости, будетъ неопредѣленнымъ, т. е. она можетъ совпадать съ двумя направленіями OB^1 и OB^{11} . Обращаясь теперь къ испытанію этихъ предполагаемыхъ двойниковыхъ осей, мы замѣчаемъ, что онѣ обѣ удовлетворяютъ требуемымъ отъ нихъ условіямъ, какъ это хорошо видно и на чертежѣ. Поэтому, если бы мы остановились на повѣркѣ одного направленія OB^{11} , то могли принять его за настоящую двойниковую ось и тѣмъ впасть въ ошибку. Дѣйствительною же осью будетъ та, которая имѣетъ возможное кристаллографическое значеніе. Приблизительно то же явленіе мы получимъ, если одна пара осей упругости близка къ совпаденію, что, какъ увидимъ ниже, часто встрѣчается среди двойниковъ полевыхъ шпатовъ.

При опредѣленіи координатъ двойниковой оси мы могли найти только абсолютныя ихъ величины. Между тѣмъ, какъ всякія другія координаты, онѣ лишь въ томъ случаѣ будутъ вполне характеризовать измѣряемое ими направленіе, когда извѣстно, въ которомъ изъ восьми октантовъ, образуемыхъ координатными осями, это направленіе находится. Но установить координатныя оси, которыми въ данномъ случаѣ являются оси упругости минерала, можно только тогда, когда извѣстны главнѣйшіе кристаллографическіе элементы послѣдняго. Нужно сказать, что въ порообразующихъ минералахъ опредѣлить достаточное количество этихъ элементовъ почти никогда не удастся, и такимъ образомъ пользование координатами двойниковой оси неизбежно приводитъ къ нѣкоторымъ недоразумѣніямъ; впрочемъ, послѣднія болѣею частью легко уничтожаются какими-нибудь побочными наблюденіями.

§ 43. Значеніе двойниковыхъ элементовъ въ дѣлѣ опредѣленія минераловъ.

Какъ же нужно пользоваться находимыми при помощи описаннаго метода координатами двойниковой оси при опредѣленіи минераловъ?

Мы знаемъ, что двойниковые элементы имѣютъ всегда кристаллографическое значеніе, поэтому вышеупомянутыя координаты выражаютъ то отношеніе между оптическими и кристаллографическими элементами, которое болѣею частью вполне характеризуетъ данный минеральный видъ. Въ зависимости отъ наличности тѣхъ или другихъ данныхъ опредѣленіе координатъ двойниковой оси имѣетъ троякое значеніе:

1) Если природа минерала извѣстна, то найденныя координаты могутъ указать на законъ двойниковаго образованія, т. е. на кристаллографическое значеніе элементовъ послѣдняго. Дѣйствительно, зная, съ какимъ минераломъ намъ приходится имѣть дѣло, мы имѣемъ представ-

леніе о томъ, какъ расположенъ въ немъ оптический эллипсоидъ. Если всѣ элементы минерала изобразить въ стереографической проекціи, то рѣшеніе поставленной задачи можетъ быть выполнено чисто графическимъ путемъ.

Пусть, на примѣръ, фиг. 37-ая представляетъ смѣшанную проекцію элементовъ ортоклаза, въ которой кружками обозначены полюсы, или гномостереографическія проекціи плоскостей, а крестиками — грама-стереографическія проекціи направленій.

Положимъ, что, изслѣдуя какое нибудь двойниковое образованіе этого минерала, мы нашли координаты двойниковой оси:

$$\angle B \left\{ \begin{array}{l} n_g = 45^\circ \\ n_m = 45^\circ \\ n_r = 86^\circ \end{array} \right.$$

Чтобы найти по этимъ координатамъ на діаграммѣ ортоклаза точку, представляющую полюсъ двойниковой оси, нужно провести около полюсовъ осей упругости геометрическія мѣста точекъ, отстоящихъ отъ этихъ полюсовъ на величину соотвѣтствующей координаты. Такое построеніе дѣлается по задачѣ 7-ой (§ 14).

Очевидно, полюсъ двойниковой оси будетъ представленъ точкой пересѣченія всѣхъ трехъ дугъ малаго круга, каковыми являются указанные геометрическія мѣста. Нетрудно видѣть, что, если проводить такіе круги около того и другого полюса каждой оси упругости, то получится восемь точекъ, удовлетворяющихъ поставленному условію.

Въ нашемъ примѣрѣ изъ этихъ восьми точекъ только двѣ, представляющія полюсы плоскостей $(0\bar{2}1)$ и (021) , отвѣчаютъ раціональнымъ элементамъ минерала. Поэтому нужно принять, что двойниковая ось есть нормаль къ плоскости $(0\bar{2}1)$ или (021) , т. е. двойникъ ортоклаза образованъ по такъ называемому Бавенскому закону.

Изъ этого примѣра мы видимъ, что для опредѣленія характера двойниковаго закона минераловъ необходимо имѣть діаграммы, изображающія всѣ элементы послѣднихъ.

Въ руководствахъ по минералогіи, появившихся за послѣднее время, приложены такія діаграммы для многихъ болѣе часто встрѣчающихся минеральныхъ видовъ (см. Н. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie. I₂, 1905).

Но обыкновенно эти діаграммы обладаютъ тѣмъ неудобствомъ, что на нихъ не нанесена стереографическая сѣтка. Чтобы возможно было дѣлать необходимыя построенія, нужно имѣть экземпляры прозрачныхъ сѣтокъ соотвѣтствующаго діаметра, обращеніе съ которыми было описано въ § 15. Еще лучше переносить каждый разъ всѣ данныя діаграммъ на полусферу Никитина, гдѣ проведеніе дугъ малаго круга дѣлается чрезвычайно просто.

2) Наоборотъ, если намъ извѣстенъ характеръ двойниковаго образо-

ванія изслѣдуемаго минерала, то мы можемъ воспользоваться координатами двойниковой оси для опредѣленія послѣдняго.

Правда, эта задача значительно труднѣе предыдущей, такъ какъ у насъ нѣтъ еще таблицъ, гдѣ были бы сведены въ извѣстномъ порядкѣ всѣ числовыя данныя, характеризующія возможные двойниковыя образования минераловъ. Но во всякомъ случаѣ мы можемъ по извѣстнымъ признакамъ отнести изслѣдуемый минераль къ какому-нибудь классу или виду и тѣмъ значительно сѣззить сферу своихъ поисковъ. Такъ какъ **данная задача обратна предыдущей**, то при этихъ поискахъ нужно пользоваться также вышеуказанными діаграммами.

Возьмемъ для примѣра такой схематическій случай. Пусть въ шлифѣ горной породы имѣется двойникъ полевого шпата, образованный по Бавенскому закону, какъ это можно судить по характерному діагональному расположенію шовной линіи, причемъ координаты двойниковой оси имѣютъ такое значеніе:

$$\angle B \begin{cases} n_g = 45^\circ \\ n_m = 45^\circ \\ n_p = 86^\circ \end{cases}$$

Предположимъ затѣмъ, что среди представителей группы полевыхъ шпатовъ только ортоклазъ и нерѣшетчатый микроклинъ могутъ входить въ составъ изслѣдуемаго двойника.

Обращаясь къ діаграммамъ этихъ минераловъ и откладывая на нихъ по-предыдущему координаты двойниковой оси, мы находимъ, что послѣдняя только въ случаѣ ортоклаза совпадаетъ съ полюсомъ плоскости (021) или вообще имѣетъ раціональное значеніе. На основаніи этого мы въ правѣ заключить, что данный минераль представляетъ ортоклазъ.

3) Наконецъ, въ томъ случаѣ, когда намъ неизвѣстны ни характеръ даннаго двойниковаго образования, ни химическая природа минерала, его составляющаго, то координаты двойниковой оси сами по себѣ не могутъ впрочемъ послужить для опредѣленія минерала, такъ какъ это равносильно рѣшенію уравненія съ двумя неизвѣстными. Только въ томъ случаѣ, когда приходится имѣть дѣло съ опредѣленной минеральной группой, отдѣльные представители которой связаны между собою закономѣрнымъ образомъ, координаты двойниковой оси могутъ одновременно разрѣшить обѣ поставленныя задачи.

До настоящаго времени этотъ методъ примѣняется пока для опредѣленія изоморфной группы плагіоклазовъ, гдѣ онъ достигъ удивительнаго развитія, благодаря трудамъ творца универсальнаго метода изслѣдованія—Е. С. Федорова.

Опредѣленіе минераловъ при помощи плоскостей спайности.

§ 44. Значеніе координатъ полюса спайности.

Оси упругости являются иногда единственными элементами минерала, которые могутъ быть опредѣлены въ любомъ зернѣ послѣдняго.

Очевидно, каждый минеральный видъ характеризуется особымъ расположеніемъ этихъ осей относительно его кристаллографическихъ элементовъ.

Выше мы видѣли, какъ просто опредѣлить это отношеніе въ случаѣ двойниковаго образованія, ось котораго, находямая косвеннымъ путемъ, имѣетъ всегда кристаллографическое значеніе. Но этотъ методъ опредѣленія минераловъ требуетъ, чтобы изслѣдуемая зерна послѣднихъ находились въ видѣ двойниковъ, что встрѣчается лишь у нѣкоторыхъ минеральныхъ видовъ. Гораздо чаще, пожалуй, встрѣчаются въ пороодообразующихъ минералахъ реальные кристаллографическія плоскости, являющіяся преимущественно въ видѣ трещинокъ спайности.

Какъ же воспользоваться послѣдними для опредѣленія минераловъ?

Ясно, что здѣсь можно примѣнить тотъ же принципъ, который былъ положенъ въ основаніе опредѣленія минераловъ при помощи изслѣдованій двойниковыхъ образованій. Дѣйствительно, установивши плоскость спайности, измѣряемъ координаты ея полюса, которыя будутъ имѣть то же значеніе, что и координаты полюса двойниковой оси. Такъ же пользуясь діаграммой того или другого минерала, мы можемъ опредѣлить или самый минералъ, или кристаллографическое значеніе спайности послѣдняго, или то и другое вмѣстѣ.

Нужно сказать, что и здѣсь одной системы трещинокъ спайности въ общемъ случаѣ, относящемся къ кристалламъ триклинной сингоніи, бываетъ недостаточно, чтобы при рѣшеніи вопроса не было двусмысленностей, и для полного опредѣленія минерала нужны еще добавочныя наблюденія и данныя. Но въ кристаллахъ болѣе высокихъ степеней симметріи плоскости осей упругости пріобрѣтаютъ уже значеніе главныхъ кристаллографическихъ плоскостей, такъ что координаты полюса плоскости спайности часто могутъ вполне характеризовать данный минералъ. Впрочемъ, въ послѣднемъ случаѣ иногда бываетъ удобнѣе пользоваться координатами не плоскости спайности, а какихъ-нибудь другихъ производныхъ кристаллографическихъ элементовъ.

Разсмотримъ на одномъ примѣрѣ, какъ нужно пользоваться представляющимися трещинками спайности для опредѣленія отношенія между оптическими и кристаллографическими осями минерала. Возьмемъ моноклинный пироксенъ, который вмѣстѣ съ амфиболомъ образуетъ двѣ аналогичныя группы весьма важныхъ пороодообразующихъ минераловъ.

Пусть фиг. 38-ая представляетъ граммастереографическую проекцію результатовъ измѣреній элементовъ одного авгита. При установкѣ

различныхъ плоскостей этого минерала приняты во вниманіе поправки для угловъ наклона около осей H и J , соотвѣтственно показателю преломленія авгита $n = 1.71$.

Какъ видно изъ діаграммы, въ изслѣдованномъ зернѣ удалось точно установить плоскость спайности, которая у авгитовъ совпадаетъ съ плоскостью вертикальной призмы. Кромѣ того извѣстно, что у этихъ минераловъ плоскость оптическихъ осей $n_g n_r$ лежитъ во второмъ пинакоидѣ (010), который въ пересѣченіи съ плоскостью призмы даетъ ребро, параллельное вертикальной оси C .

Такимъ образомъ въ точкѣ пересѣченія c проекцій упомянутыхъ плоскостей мы находимъ проекцію этой кристаллографической оси. Теперь остается измѣрить угловое разстояніе послѣдней отъ осей упругости, и мы получимъ данныя, вполне характеризующія расположеніе этихъ осей въ изслѣдуемомъ кристаллѣ.

Среди координатъ полюса вертикальной оси принято пользоваться только угломъ Cn_g , такъ какъ двѣ другія координаты легко выводятся изъ послѣдней при существованіи плоскости симметріи въ моноклинномъ минералѣ. Эта координата по старой терминологіи называется угломъ погасанія авгита. Намъ кажется, что при пользованіи универсальнымъ методомъ такое названіе является совершенно излишнимъ хотя бы потому, что этотъ уголъ погасанія опредѣляется графическимъ путемъ и бѣльшей частью не можетъ быть провѣренъ въ препаратѣ, ибо, какъ въ нашемъ примѣрѣ, хорошо устанавливаемая плоскость оптическихъ осей занимаетъ почти вертикальное положеніе.

Дѣлая измѣреніе на діаграммѣ, находимъ уголъ $Cn_g = 38^\circ$. Полученная координата указываетъ на то, что данный пироксенъ относится къ обыкновеннымъ авгитамъ, съ чѣмъ согласуется и уголъ между оптическими осями $2V = +66^\circ$.

Точность опредѣленія угла Cn_g зависитъ главнымъ образомъ отъ точности установки плоскости спайности, потому что послѣдняя пересѣкается съ пинакоидомъ (010) подъ довольно острымъ угломъ.

Эту установку легко повѣрить слѣдующимъ образомъ. Какъ извѣстно, въ моноклинномъ пироксенѣ плоскость (010) дѣлитъ пополамъ уголъ между плоскостями спайности по призмѣ; кромѣ того извѣстно, что этотъ уголъ $= 87^\circ$.

Такимъ образомъ, если измѣренный на діаграммѣ уголъ между плоскостями $n_g n_r$ и плоскостью спайности будетъ равняться $\frac{87}{2} = 43,5^\circ$, то значитъ установка послѣдней была сдѣлана правильно. Но уголъ между плоскостями равняется углу или дополненію до 180° къ углу, образуемому полюсами этихъ плоскостей. Измѣряя искомый уголъ указаннымъ путемъ, имѣемъ, что

$$\angle B_{cn} n_m = 180^\circ - 136^\circ = 43,5^\circ.$$

Итакъ, установка плоскости спайности была сдѣлана правильно, по-

чему можно довѣриться и полученной величинѣ координаты угла Cn_z . Изъ приведеннаго примѣра нахожденія отношенія между оптическими и кристаллографическими осями минерала при помощи наблюдений плоскости спайности мы видимъ, что этотъ методъ является очень эластичнымъ, такъ какъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ комбинаціи имѣющихся въ данномъ зернѣ минерала элементовъ могутъ быть самыми разнообразными не только по количеству, но и по качеству ихъ проявленія. Такимъ образомъ нѣтъ никакой возможности дать точную и опредѣленную схему такихъ изслѣдованій—схему, которая сводила бы отдѣльныя стадіи наблюдений къ ряду механическихъ приѣмовъ. Здѣсь можно было только указать на общій характеръ работы, что и сдѣлано въ видѣ разбора частнаго случая опредѣленія авгита.

§ 45. Объ углахъ погасанія.

Мы видѣли, что присутствія одной системы трещинокъ спайности въ пороодообразующихъ минералахъ, относящихся главнымъ образомъ къ триклинной сингоніи, бываетъ недостаточно для ориентировки оптического эллипсоида упругости. Поэтому для ближайшаго опредѣленія такихъ минераловъ необходимо, кромѣ координатъ полюса спайности, установить какія нибудь другія константы, зависящія отъ этой спайности и имѣющія такимъ образомъ нѣсколько условный характеръ.

Среди такихъ константъ издавна было обращено вниманіе на такъ называемые углы погасанія, получаемые слѣдующимъ образомъ.

Обыкновенно въ каждомъ минеральномъ видѣ имѣется какой нибудь характерный кристаллографическій элементъ, проявляющійся въ каждомъ индивидѣ такого минерала. Благодаря этому обстоятельству возможно бываетъ изготовлять препараты, ориентированные по известной плоскости кристалла. Станемъ наблюдать такой препаратъ подъ микроскопомъ; если въ сѣченіи шлифа имѣется известное направленіе, на примѣръ, слѣдъ опредѣленной спайности, то уголь, образуемый послѣднимъ съ осью эллипса упругости сѣченія и проявляющійся при вращеніи столика микроскопа въ видѣ угла погасанія относительно этого направленія, будетъ характеризовать данный минераль. Но изготовлять ориентированные препараты изъ образцовъ горныхъ породъ чрезвычайно затруднительно и часто невозможно, а въ шлифахъ произвольнаго сѣченія выведенная константа можетъ быть использована лишь въ рѣдкихъ случаяхъ, когда по какимъ нибудь признакамъ можно установить характеръ сѣченія даннаго зерна минерала. Поэтому при универсально-оптическомъ изслѣдованіи пороодообразующихъ минераловъ нужно совершенно отказаться отъ угла погасанія на опредѣленныхъ граняхъ, какъ руководящей оптической константы. Если бы у насъ случайно и оказались на лицо условія, необходимыя для измѣренія указанныхъ угловъ погасанія, то все таки этими условіями лучше воспользоваться для другой цѣли. Дѣйствительно, уголь погасанія можно измѣрить только въ

томъ случаѣ, если въ изслѣдуемомъ зернѣ минерала имѣются двѣ кристаллографическія плоскости. Но, установивши послѣднія при помощи универсальнаго столика, мы находимъ ось ихъ зоны и опредѣляемъ затѣмъ координаты этой оси относительно осей упругости минерала, т. е. узнаемъ непосредственно ориентировку оптического эллипсоида въ данномъ минералѣ, что имѣетъ для опредѣленія послѣдняго гораздо болѣе значеніе, чѣмъ измѣреніе угла, образуемаго второстепенными направлениями въ кристаллѣ.

Если уже вводить и въ универсальный методъ такія условныя константы, какъ углы погасанія, то устанавливать ихъ нужно на нѣсколько иныхъ основаніяхъ. Правда, безъ одной хотя системы трещинокъ спайности и здѣсь не обойтись, но послѣднія можно встрѣтить почти въ каждомъ зернѣ минерала, обладающаго хорошей спайностью. Такъ какъ для полученія угла, кромѣ плоскости спайности, необходимъ еще другой геометрический элементъ, то въ качествѣ послѣдняго мы можемъ взять ту или другую плоскость осей упругости.

Тогда въ каждомъ зернѣ минерала мы можемъ найти три угла погасанія, которые въ своей совокупности опредѣляютъ довольно точно искомое отношеніе. Пусть на фиг. 39-ой даны проекціи плоскостей упругости и плоскости спайности какого нибудь минерала. Находя точки пересѣченія послѣдней съ проекціями плоскостей упругости, мы сразу измѣряемъ требуемые углы: уголъ X_{n_p} , уголъ Y_{n_p} и уголъ Z_{n_g} . Если бы удалось привести плоскости осей упругости въ положеніе, перпендикулярное оси микроскопа, то указанные углы можно было бы повѣрить непосредственнымъ наблюденіемъ, какъ углы погасанія относительно слѣда спайности.

Такого рода константы были введены еще *M. Fouqué* для опредѣленія полевыхъ шпатовъ, при разсмотрѣніи которыхъ онѣ и будутъ полнѣе разобраны.

ТРЕТЬЯ ЧАСТЬ.

Опредѣленіе полевыхъ шпатовъ.

Полевые шпаты являются самыми распространенными пороодообразующими минералами. Классификаціи горныхъ породъ, основанныя на минералогическомъ составѣ, отражаютъ въ себѣ прежде всего характеръ имѣющихся полевыхъ шпатовъ. Но кромѣ практическаго значенія послѣдніе имѣютъ громадный теоретическій интересъ: достаточно сказать, что всѣ успѣхи въ дѣлѣ изученія полевыхъ шпатовъ были въ то же время этапами въ развитіи кристаллографіи и химической минералогіи. Отсюда понятно стремленіе расширить сферу болѣе или менѣе точнаго изслѣдованія этихъ минераловъ.

Изъ всѣхъ методовъ опредѣленія полевыхъ шпатовъ въ шлифахъ горныхъ породъ универсальный методъ Федорова является наиболѣе пригоднымъ, такъ какъ онъ даетъ возможность находить почти всѣ наиболѣе важные элементы этихъ минераловъ. И нужно сказать, что до настоящаго времени этотъ методъ примѣняется главнымъ образомъ для опредѣленія полевыхъ шпатовъ, такъ какъ послѣдніе представляютъ минералы безцвѣтные съ невысокимъ сравнительно показателемъ преломленія и почти незамѣтной дисперсіей осей, т. е. обладаютъ такими свойствами, при которыхъ изслѣдованія на Федоровскомъ столикѣ даютъ наиболѣе надежные результаты.

Такимъ образомъ описаніе способовъ опредѣленія полевыхъ шпатовъ выполнѣ иллюстрируетъ практическое примѣненіе универсально-оптического метода изслѣдованія къ изученію пороодообразующихъ минераловъ.

Исторія развитія этого метода, еще далеко не сказавшаго своего послѣдняго слова, заставляетъ насъ начать съ разсмотрѣнія плагіоклазовъ.

Известково-натровые полевые шпаты.

§ 46. Изоморфизмъ плагіоклазовъ.

Плагіоклазы представляютъ рѣзко выраженную группу известково-натровыхъ полевыхъ шпатовъ, образующихъ изоморфный рядъ, на одномъ концѣ котораго стоитъ чистый натровый полевой шпатъ, или альбитъ, составъ котораго выражается формулою $Na_2Al_2Si_6O_{16}$, а другимъ предѣльнымъ членомъ ряда является анортитъ, имѣющій формулу $CaAl_2Si_2O_8$.

Если обозначить через Ab и An молекулы альбита и анортита, то составъ любого члена ряда плагиоклазовъ можетъ быть выраженъ формулою: $Ab_m An_n$. Для удобства обозначенія отдѣльныхъ членовъ этого многочисленнаго ряда удобнѣе принять $m + n = 100$, и тогда вышеприведенная формула будетъ имѣть видъ: $Ab_{100-n} An_n$. По предложенію проф. Федорова обозначеніе плагиоклазовъ можетъ быть еще болѣе сокращено, если вмѣсто названія ставить №, указывающій процентное содержаніе молекулъ анортита, равное n послѣдней формулы. Такъ, плагиоклазъ № 35 содержитъ 35 молекулярныхъ процентовъ анортита и 65% альбита.

Нужно сказать, что даже послѣ открытія Г. Чермакомъ изоморфизма плагиоклазовъ очень долгое время были извѣстны только немногіе чаще встрѣчающіеся представители послѣднихъ, издавна получившіе особые названія.

Хотя въ настоящее время и нѣтъ особенной нужды въ сохраненіи этихъ названій, тѣмъ не менѣе ихъ еще часто употребляютъ, разумѣя подъ ними болѣе крупныя категоріи этихъ минераловъ. Поэтому ниже приводится таблица различныхъ обозначеній наиболѣе извѣстныхъ членовъ ряда плагиоклазовъ.

Названіе плагиоклаза.	Формула.	№
Альбитъ	Ab	0
Альбит-олигоклазъ	$Ab_7 An_1$	13
Олигоклазъ	$Ab_3 An_1$	25
Олигоклаз-андезинъ	$Ab_2 An_1$	33
Андезинъ	$Ab_3 An_2$	40
Лабрадоръ	$Ab_1 An_1$	50
Лабрадор-битовнитъ	$Ab_3 An_5$	63
Битовнитъ	$Ab_1 An_3$	75
Анортитъ	An	100

Конечно, эта таблица можетъ быть измѣнена въ зависимости отъ того, какой составъ придавать плагиоклазу, носящему то или другое названіе.

Принадлежность плагиоклазовъ къ одному изоморфному ряду доказывается постепеннымъ и законмѣрнымъ измѣненіемъ ихъ физическихъ свойствъ въ зависимости отъ относительнаго количества обоихъ конечныхъ членовъ ряда, входящихъ въ составъ каждаго промежуточнаго члена послѣдняго. Къ числу такихъ свойствъ, законмѣрное измѣненіе которыхъ обыкновенно не подвергается сомнѣнію, относятся: удѣльный вѣсъ, объемъ, точка плавленія и кристаллическія формы ¹⁾.

¹⁾ F. Becke. Die optischen Eigenschaften der Plagioklasse. T. M. P. M. 25, 1906; 1.

Относительно оптическихъ свойствъ плагіоклазовъ мнѣнія различныхъ ученыхъ нѣсколько расходятся. Хотя почти всѣ эти свойства измѣняются въ одномъ направленіи съ измѣненіемъ состава плагіоклазовъ, тѣмъ не менѣе строгой закономѣрности въ этомъ явленіи не наблюдается. Такъ Е. С. Федоровъ показал¹⁾, что кривыя его діаграммы, представляющія геометрическія мѣста проекцій двойниковой оси, полученныхъ для различныхъ членовъ плагіоклазового ряда, не имѣютъ простой формы, какъ это нужно было бы ожидать при изоморфизмѣ послѣдняго. Также С. Viola напелъ²⁾, что въ одномъ и томъ же образцѣ альбита углы погасанія на плоскостяхъ (010) и (001) давали колебанія до 6°, и что вслѣдствіе этого едва ли имѣется практическая возможность доказать принадлежность плагіоклазовъ къ одному изоморфному ряду, по крайней мѣрѣ съ точки зрѣнія ихъ оптическихъ свойствъ.

Но извѣстный изслѣдователь полевыхъ шпатовъ *F. Veske* въ приведенной выше работѣ, послѣ основательнаго разбора оптическихъ свойствъ плагіоклазовъ, приходитъ къ тому заключенію, что по всей совокупности этихъ свойствъ плагіоклазы должны быть отнесены къ одному изоморфному ряду, и что если наблюдаются нѣкоторыя сравнительно незначительныя отклоненія отъ требуемой теоріей закономѣрности въ измѣненіи константъ, то это объясняется слѣдующимъ образомъ.

Конечные члены разсматриваемаго ряда имѣютъ немного различныя кристаллическія формы; поэтому, входя въ изоморфное соединеніе, они должны приспособливаться другъ къ другу, а это безусловно отразится на самыхъ чувствительныхъ свойствахъ минераловъ, къ которымъ относятся оптическія свойства.

Потому то существующія теоріи *Mallard*, *Pockels* и *M. Lévy*, имѣющія своею цѣлью выведеніе оптическихъ свойствъ изоморфныхъ соединеній по извѣстнымъ свойствамъ крайнихъ членовъ ряда, часто даютъ результаты, несогласные съ дѣйствительно наблюдаемыми величинами, такъ какъ во всѣхъ этихъ теоріяхъ предполагается, что свойства конечныхъ членовъ ряда остаются безъ измѣненія, когда послѣдніе входятъ въ соединенія.

Такимъ образомъ установленіе оптическихъ константъ отдѣльныхъ членовъ плагіоклазовой группы должно происходить пока экспериментальнымъ путемъ, а изоморфизмъ этого ряда можетъ служить лишь основной мыслью, провѣряющей разрозненныя наблюденія и связывающей ихъ въ одно цѣлое.

¹⁾ *E. v. Fedorow*. Universalmethode und Feldspathstudien III. Z. f. Kr. 29. 1898; s. 643. u. 638.

²⁾ *C. Viola*. Ueber die optische Orientirung des Albits und das Tschermack'sche Gesetz, T. M. P. M. 20, 1901; 199 — 209.

Г л а в а I.

Федоровскій методъ опредѣленія плагіоклазовъ.*§ 47. Общія основанія метода.*

Универсально-оптический методъ основанъ на примѣненіи Федоровскаго столика, который даетъ возможность опредѣлять главнымъ образомъ пространственныя отношенія между оптическими и кристаллографическими элементами минераловъ. Но какъ разъ эти отношенія болѣею частью хорошо характеризуютъ природу послѣднихъ. Выше мы видѣли, что при выясненіи указанныхъ отношеній громадное значеніе имѣетъ изученіе двойниковыхъ образованій. Дѣйствительно, двойниковая ось, находямая простымъ построеніемъ, должна быть или ребромъ или перпендикуляромъ къ возможной грани кристалла; поэтому, измѣряя углы между этимъ направленіемъ и осями упругости того или другого индивида двойника, мы получаемъ искомое отношеніе. Этотъ удобный методъ опредѣленія минераловъ примѣнимъ только въ томъ случаѣ, если послѣдніе всегда встрѣчаются въ видѣ двойниковъ.

Къ числу такихъ минераловъ относятся особенно плагіоклазы. Такъ какъ они имѣютъ исключительное значеніе въ горныхъ породахъ, то понятно, что универсальный методъ изслѣдованія съ самаго начала своего возникновенія былъ приложенъ къ этимъ минераламъ, съ изученіемъ ихъ было связано его собственное развитіе и ими главнымъ образомъ онъ занимается и по настоящее время. Вслѣдствіе этого нерѣдко подъ универсально-оптическимъ или Федоровскимъ методомъ понимаютъ неправильно методъ опредѣленія только плагіоклазовъ.

Изложимъ въ краткихъ чертахъ, въ чемъ заключается сущность этого понимаемаго въ узкомъ смыслѣ Федоровскаго метода.

Положимъ, что у насъ имѣется матеріалъ, представляющій кристаллы различныхъ членовъ плагіоклазоваго ряда, причемъ послѣдніе образуютъ двойники по одному и тому же закону. Произведя химическіе анализы надъ каждымъ изъ образцовъ, мы точно устанавливаемъ составъ соотвѣтствующаго плагіоклаза и опредѣляемъ такимъ образомъ то мѣсто, которое онъ занимаетъ въ ряду. Съ другой стороны, приготовивъ изъ данаго матеріала шлифы, мы подвергаемъ на Федоровскомъ столикѣ изслѣдованію двойниковыя образованія этихъ плагіоклазовъ, причемъ находимъ координаты двойниковой оси, т. е. углы, которые она образуетъ съ осями упругости того или другого индивида двойника. Изобразимъ теперь полученные результаты въ видѣ діаграммы. Для этого возьмемъ стереографическую сѣтку (таблица X) и положимъ, что съ центромъ ея совпадаетъ ось n_m , а съ горизонтальнымъ и вертикальнымъ діаметрами—оси n_g и n_r . Чтобы найти на этой сѣткѣ проекцію двойниковой оси, нужно отложить ея координаты отъ проекцій соотвѣтствующихъ осей упругости, пользуясь полярными или экваторіальными параллелями. Нетрудно

видѣть, что въ общемъ случаѣ на сѣткѣ получатся четыре точки, отвѣчающія этимъ координатамъ, такъ какъ проекцію оси n_g , отъ которой отсчитывается соответствующая координата, можно принять какъ на правомъ, такъ и на лѣвомъ концѣ горизонтальнаго діаметра, и проекцію оси n_p —на обоихъ концахъ вертикальнаго діаметра. Чтобы избѣгнуть этой неопредѣленности, нужно полученнымъ координатамъ двойниковой оси придать извѣстные знаки.

Поступивши такимъ образомъ, мы получимъ на сѣткѣ рядъ точекъ, представляющихъ проекціи двойниковой оси для различныхъ плагиоклазовъ, образующихъ двойники по одному и тому же закону. Если бы удалось какимъ либо образомъ произвести такое изслѣдованіе надъ всѣми возможными членами плагиоклазового ряда, то полученные на сѣткѣ точки дали бы сплошную линію болѣе или менѣе закономернаго характера, въ виду принадлежности плагиоклазовъ къ изоморфному ряду. Но по этой то причинѣ можно ограничиться нахожденіемъ и немногихъ точекъ, соответствующихъ разнообразнымъ представителямъ этихъ минераловъ; соединяя эти точки плавной кривой, мы съ достаточною степенью точности получимъ необходимую діаграмму. Остается теперь для удобства пользованія послѣдней отмѣтить на ней при помощи интерполированія точки, отвѣчающія, напримѣръ, каждому десятому № плагиоклаза.

Очевидно, такимъ же точно образомъ можно построить кривыя, соответствующія и другимъ извѣстнымъ и чаще встрѣчающимся двойниковымъ законамъ плагиоклазовъ.

Эти кривыя въ своей совокупности образуютъ то, что называется Федоровской діаграммой, представленной на табл. X.

Нужно сказать, что специальной работы описаннаго выше характера еще не было, такъ какъ едва ли и найдется гдѣ нибудь матеріалъ, достаточный для этой цѣли. Поэтому двойниковая діаграмма составлялась нѣсколько инымъ образомъ: приходилось пользоваться тѣми недостаточными вообще данными о распредѣленіи осей упругости въ отдѣльных плагиоклазахъ, какія имѣются въ литературѣ.

Полученная тѣмъ или другимъ путемъ діаграмма можетъ служить уже для опредѣленія плагиоклазовъ при обыкновенныхъ петрографическихъ работахъ. Въ выбранномъ зернѣ плагиоклаза опредѣляется обычнымъ порядкомъ двойниковое образованіе и находятся координаты двойниковой оси. Такъ какъ въ общемъ случаѣ нѣтъ критерія, по которому можно было бы полученнымъ координатамъ придать тѣ или другіе знаки, то при нанесеніи проекціи этой оси на сѣткѣ нашей діаграммы получатся четыре точки. Въ томъ случаѣ, если всѣ измѣренія были сдѣланы правильно и если на діаграммѣ имѣется кривая, отвѣчающая тому закону, по которому образованъ двойникъ изслѣдуемаго плагиоклаза, то одна изъ этихъ четырехъ точекъ ляжетъ на соответствующей кривой или близко около нея. Очевидно, эта кривая укажетъ намъ на законъ двойниковаго образованія, а отмѣченная точка ея на № даннаго плагиоклаза.

Такимъ образомъ, при помощи сравнительно простыхъ измѣреній и построений Федоровскій методъ даетъ возможность опредѣлять не только химическій составъ плагіоклазовъ, но и характеръ двойниковъ, которые они образуютъ.

§ 48. Законы двойниковыхъ образованій плагіоклазовъ.

Итакъ, двойниковая діаграмма есть необходимая принадлежность при описываемомъ методѣ опредѣленія плагіоклазовъ. На ней каждая кривая представляетъ геометрическое мѣсто проекцій двойниковой оси какого нибудь одного закона. Очевидно, какъ при составленіи діаграммы, такъ и при пользованіи ею необходимо знать, какія двойниковыя образованія вообще свойственны плагіоклазамъ, и какое кристаллографическое значеніе имѣютъ элементы двойниковъ.

Въ главѣ о двойниковыхъ образованіяхъ было указано, что самые общіе двойниковые законы принадлежатъ кристалламъ триклинной сингоніи. Такъ какъ плагіоклазы относятся къ послѣдней, то среди нихъ теоретически возможны весьма разнообразныя двойниковыя образованія, и если извѣстны сравнительно немногія изъ нихъ, то это объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что до послѣдняго времени двойники опредѣлялись преимущественно на макроскопическихъ кристаллахъ съ хорошо развитыми гранями, а матеріала, удовлетворяющаго этому условію, имѣется вообще недостаточное количество. Поэтому многіе изъ ниже выводимыхъ двойниковыхъ законовъ требуютъ еще опытной провѣрки, что можетъ быть выполнено съ успѣхомъ большею частью только при помощи универсальнаго метода.

Какъ было показано ранѣе, характеръ двойниковаго образованія опредѣляется направленіями главныхъ силъ сцѣпленія въ кристаллѣ. Эти силы сцѣпленія съ внѣшней стороны проявляются въ направленіяхъ преимущественнаго роста кристалловъ и въ присутствіи плоскостей спайности, образуемыхъ направленіями наибольшихъ силъ сцѣпленія. Если примѣнить этотъ критерій къ плагіоклазамъ, то въ послѣднихъ направленія наиболѣе рѣзко выраженныхъ силъ сцѣпленія должны совпадать съ главными кристаллографическими осями минерала, такъ какъ полевые шпаты почти всегда бываютъ вытянуты по этимъ осямъ и имѣютъ очень хорошую спайность по пинакоидамъ (001) и (010).

Такимъ образомъ наиболѣе важныя и наичаще встрѣчающіяся двойниковыя образованія плагіоклазовъ должны быть связаны съ главными ихъ кристаллографическими осями.

Но при извѣстныхъ условіяхъ образованія кристалловъ на характеръ двойника могутъ оказать вліяніе силы сцѣпленія 2-го или даже 3-го порядковъ, если направленія этихъ силъ лежатъ въ наиболѣе развивающейся при данныхъ условіяхъ плоскости. Такъ, полевые шпаты имѣютъ еще не особенно хорошую спайность по плоскостямъ $(1\bar{1}0)$ и (110) , и потому послѣднія могутъ быть иногда также двойниковыми плоскостями.

Затѣмъ въ литературѣ имѣются указанія на то, что двойниковою плоскостью могутъ служить грани такого сложнаго знака, какъ (454), или что въ качествѣ двойниковой оси могутъ быть такія ребра, какъ (001) (340) или (001) (130) ¹⁾.

Собственно, трудно даже предвидѣть всѣ возможные двойниковыя образования, такъ какъ условія кристаллизаціи мѣняются самымъ различнымъ образомъ и такъ какъ векторіальность силъ сцѣпленія является еще мало изученной. Поэтому въ дальнѣйшемъ будутъ выведены тѣ двойниковыя законы, которые теоретически являются наиболѣе возможными, и на которые есть хотя какія нибудь указанія въ литературѣ.

Эти двойниковыя законы распредѣляются по ранѣе выведеннымъ типамъ слѣдующимъ образомъ.

I. Двойниковая ось перпендикулярна къ возможной грани кристалла.

1) *Альбитовый законъ*. Второй пинакоидъ (010) представляетъ самую важную грань и плоскость отличной спайности плагіоклазовъ. Поэтому перпендикуляръ къ этой плоскости является осью самаго распространеннаго двойниковаго закона, называемаго альбитовымъ. Индивиды этого двойника сростаются, очевидно, болышею частью по той же плоскости (010), хотя наблюденія показываютъ, что иногда плоскость сростанія имѣетъ и неправильный видъ.

2) *Манебахскій законъ*. На томъ же основаніи перпендикуляръ къ плоскости другой хорошей спайности плагіоклазовъ (001), служитъ двойниковою осью такъ называемаго Манебахскаго закона. Послѣдній при общемъ изслѣдованіи смѣшивается часто съ болѣе извѣстнымъ Карлсбадскимъ закономъ и потому до примѣненія универсальнаго метода упоминался въ литературѣ сравнительно рѣдко, но уже первыя детальныя работы ²⁾ съ примѣненіемъ послѣдняго метода показали, что рассматриваемый законъ пользуется значительнымъ распространеніемъ, какъ это нужно было ожидать съ теоретической точки зрѣнія. Плоскость сростанія индивидовъ двойника чаще всего совпадаетъ съ двойниковою плоскостью (001), но иногда можетъ быть и вторымъ пинакоидомъ, въ виду бѣльшаго кристаллографическаго вѣса послѣдняго, или даже представлять неправильную поверхность въ зависимости отъ условій кристаллизаціи.

3) Въ предыдущихъ законахъ двойниковыя плоскости опредѣлялись осями a , c и a , b . Очевидно, и плоскость, опредѣляемая осями b и c и совпадающая съ первымъ пинакоидомъ (100), также будетъ имѣть особенное значеніе и потому можетъ служить двойниковою плоскостью. Такъ какъ эта плоскость обыкновенно рѣдко наблюдается въ кристаллахъ полевыхъ шпатовъ, то и соотвѣтствующій двойниковый законъ долженъ встрѣчаться лишь въ исключительныхъ случаяхъ. И дѣйствительно, объ

¹⁾ Hintze Handbuch der Mineralogie. II s. 1342.

²⁾ Е. Федоровъ и В. Никитинъ. Богословскій Горный Округъ. 1901, стр. 155.

этомъ двойниковомъ законѣ существуютъ только глухія указанія въ минералогической литературѣ¹⁾.

4) По плоскости вертикальной призмы ($\bar{1}\bar{1}0$) не рѣдко проявляется спайность, указывающая на то, что въ ней лежатъ направленія силъ 2-го порядка. Поэтому при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ могутъ возникнуть двойники съ осью, перпендикулярной грани ($\bar{1}\bar{1}0$). *Hintze*¹⁾ упоминаетъ о подобныхъ двойникахъ, не имѣющихъ особаго названія.

5) Грань (110) имѣетъ то же приблизительно свойство, что и плоскость ($\bar{1}\bar{1}0$); поэтому все, сказанное относительно послѣдней, примѣнимо и къ первой.

6) Какъ показываютъ наблюденія, плоскость (021) имѣетъ особенное значеніе, такъ какъ по ней не рѣдко образуются двойники, напоминающіе Бавенскіе двойники ортоклазовъ.

7) То же самое относится и къ плоскости (021).

Возможны еще многіе двойники, относящіеся къ первому типу и имѣющіе въ качествѣ двойниковыхъ плоскостей другія возможные грани полевыхъ шпатовъ, напримѣръ (111), по которой иногда бываетъ несовершенная спайность, ($\bar{2}01$), (130) и т. д. Но вѣроятность такихъ двойниковъ столь незначительна, что ихъ лучше и не разбирать, чтобы не сдѣлать діаграммы очень пестрой. Между тѣмъ послѣдняя должна и можетъ удовлетворять только практическимъ цѣлямъ опредѣленія плагиоклазовъ.

II. Двойниковая ось есть возможное ребро кристалла.

8) Законъ *de l'Esterel*. Спайность полевыхъ шпатовъ по (001) и (010) соотвѣтствуетъ плоскостямъ наибольшей плотности кристаллографической сѣтки. Очевидно, изъ всѣхъ трехъ осей a , b и c , опредѣляющихъ эти плоскости, ось a , соотвѣтствующая линіи пересѣченія послѣднихъ, совпадаетъ съ направлениемъ наибольшей оси сцѣпленія. Поэтому двойники второго типа, имѣющіе въ качествѣ двойниковой оси это направленіе, должны встрѣчаться наиболѣе часто.

Хотя данный двойниковый законъ, получившій названіе *de l'Esterel*, былъ извѣстенъ еще со времени *Des Cloiseaux*²⁾, тѣмъ не менѣе онъ рѣдко упоминается въ литературѣ. Это объясняется отчасти тѣмъ, что его легко принять за болѣе извѣстный „сложный“ законъ, отчасти тѣмъ, что онъ встрѣчается чаще всего среди микролитовъ, такъ какъ послѣдніе бывають обыкновенно вытянуты по оси a , соотвѣтствующей направленію наибольшей скорости роста; поэтому данный законъ вообще мало доступенъ изслѣдованію.

9) *Карлсбадскій* законъ. Изъ двухъ другихъ кристаллографическихъ осей ось c имѣетъ слѣдующее послѣ оси a значеніе, такъ какъ она лежитъ

¹⁾ *C. Hintze. Handbuch der Mineralogie II, 1907; s. 1342.*

²⁾ *A. Des Cloiseaux. Manuel de Minéralogie I, 1862; p. 110.*

въ наиболѣе развитой плоскости кристалла (010). Двойники, осью которыхъ служить это направленіе, и которые называются карлсбадскими, встрѣчаются довольно часто, хотя и приурочены болѣею частью къ крупнымъ кристалламъ, слегка вытянутымъ по вертикальной оси. Плоскость срастанія индивидовъ двойника часто имѣетъ неправильный видъ, но принадлежитъ преимущественно къ вертикальной зонѣ, будучи то (010), то (100).

10) *Периклиновый законъ*. Этотъ двойниковый законъ, осью котораго служитъ вторая кристаллографическая ось b , соответствующая направленію наиболѣе слабой изъ трехъ главныхъ силъ сцѣпленія, встрѣчается гораздо рѣже предыдущаго закона. Нужно, впрочемъ, сказать, что благодаря близости оси b къ перпендикуляру къ плоскости (010), этотъ законъ почти совпадаетъ съ альбитовымъ закономъ и потому легко можетъ быть принятъ за послѣдній при микроскопическихъ изслѣдованіяхъ. Отличаетъ его преимущественно то обстоятельство, что плоскость срастанія индивидовъ двойника является постоянной и принадлежитъ т. н. ромбическому сѣченію, вообще близкому плоскости (001).

Приведенными тремя законами исчерпываются практически возможные двойниковыя образованія 2-го типа. Правда, существуютъ ¹⁾ двойники этого рода, связанные съ направленіями 2-го и 3-го порядковъ, лежащими въ вышеупомянутыхъ плоскостяхъ (110), (021) и т. д., но подобные двойники должны встрѣчаться чрезвычайно рѣдко, такъ какъ и двойники 1-го типа, зависящіе отъ этихъ направленій, не пользуются большимъ распространеніемъ.

III. Двойниковая ось лежитъ въ возможной плоскости и перпендикулярна къ возможному ребру кристалла.

11) Наиболѣе распространенныя двойниковыя образованія этого типа должны быть связаны со вторымъ пинакоидомъ, такъ какъ эта плоскость заключаютъ въ себѣ направленія наибольшихъ силъ сцѣпленія.

Прежде всего нужно остановиться на двойникахъ, осью которыхъ будетъ перпендикуляръ къ главной оси сцѣпленія a . Законъ, по которому построены такіе двойники и который имѣетъ формулу: двойниковая ось — перпендикуляръ къ [100] въ (010), не носитъ спеціальнаго названія и лишь недавно былъ констатированъ ²⁾ — по всей вѣроятности потому, что онъ близокъ манебахскому и встрѣчается вообще рѣдко. Плоскость срастанія индивидовъ двойника должна совпадать болѣею частью съ (010).

12) Законъ *la Roc Tourné*. У этого двойниковаго закона ось представляетъ перпендикуляръ къ [001] въ (010) и почти совпадаетъ съ перпендикуляромъ къ (100), почему самый законъ трудно отдѣлить отъ закона, описаннаго въ пунктѣ 3-мъ.

¹⁾ С. Hintze. Handbuch der Mineralogie. II, s. 1342.

²⁾ В. В. Никитинъ. Двойники по первой оси и перпендикуляру къ ней etc. Зап. Горн. Ин-та 1, 1907; 237.

Хотя съ теоретической точки зрѣнія этотъ законъ не имѣеть особыхъ преимуществъ передъ послѣднимъ, тѣмъ не менѣе еще *Des Cloiseaux* ¹⁾ имѣлъ возможность описать его, объяснивши, впрочемъ, способъ его образования нѣсколько иначе, чѣмъ это принято здѣсь. Правда, встрѣчался этотъ законъ очень рѣдко, такъ что въ послѣднее время Е. С. Федоровъ и *C. Viola* ²⁾ при своихъ изысканіяхъ полевыхъ шпатовъ какъ бы вновь открыли его и дали каждый особое названіе: Е. С. Федоровъ назвалъ этотъ законъ сложнымъ, а *C. Viola*—2-мъ карлсбадскимъ. Намъ кажется, что нѣтъ достаточныхъ основаній отступать отъ первоначальнаго названія—*la Roc Tourné*. Почему этотъ законъ извѣстенъ болѣе другихъ, аналогичныхъ ему, будетъ сказано ниже.

13) Переходимъ теперь къ слѣдующей главной плоскости кристалла (001). Какъ и ранѣе, обратимъ сначала вниманіе на двойниковый законъ, опредѣляемый осью—перпендикуляромъ къ [100] въ (001), которая почти совпадаетъ съ второю кристаллографическою осью *b*, почему и самый законъ очень близокъ периклинальному. Несмотря на это, онъ былъ уже подмѣченъ на кристаллахъ ³⁾, хотя не получилъ еще specialнаго названія.

14) Законъ *Scorpi*. Этотъ законъ, характеризуемый осью, представляющей перпендикуляръ къ [010] въ (001), почти совпадаетъ съ закономъ *de l'Esterel* и былъ открытъ *C. Viola*.

15 и 16) Въ виду того, что плоскость (100) имѣеть особенное кристаллографическое значеніе, возможны еще два двойниковыхъ закона 3-го типа, опредѣляемыхъ осями: перпендикуляръ къ [001] въ (100) и перпендикуляръ къ [010] въ (100).

Первый изъ нихъ почти совпадаетъ съ альбитовымъ закономъ, а второй довольно близокъ къ карлсбадскому закону. Нужно сказать, что ни одинъ изъ этихъ законовъ еще не былъ подмѣченъ до настоящаго времени, да и встрѣчаться они должны очень рѣдко.

Само собою разумѣется, что по отношенію къ направленіямъ силъ сцепленія 2-го и т. д. порядковъ принципъ двойниковыхъ образований 3-го типа является почти не примѣнимымъ.

IV. Двойниковая ось лежитъ въ возможной плоскости и дѣлитъ пополамъ уголъ между возможными ребрами кристалла.

17) Такъ какъ плоскости спайности (010) и (001) нерѣдко являются приблизительно одинаково развитыми, то и силы сцепленія, ссылающіяся съ кристаллографическими осями *b* и *c*, имѣють почти одну и ту же величину. Поэтому четвертый типъ двойниковыхъ образований приложимъ прежде всего къ плоскости (100), такъ что ось соотвѣтствующаго двойника будетъ дѣлить пополамъ уголъ между кристаллографическими

¹⁾ *A. Des Cloiseaux*. Manuel de Minéralogie. I. 1862; 320.

²⁾ *E. v. Fedorow*. Universalmethode und Feldspathstudien III. Z. f. Kr. 29; 651.

C. Viola. Beitrag zur Zwillingbildung. Z. f. Kr. 36, 1902; 234.

³⁾ *A. Streng*. Feldspathstudien. Neues Jahrbuch. 1871; 614.

осями $[010]$ и $[001]$. Этотъ законъ болѣе или менѣе близокъ Бавенскому закону и до сихъ поръ, собственно, еще не наблюдался.

18 и 19) То же самое можно сказать и относительно возможныхъ теоретически двойниковъ, оси которыхъ являются биссектрисами угловъ между осями a и c и a и b . Такъ какъ разница между силами сцѣпленія, направленными по двумъ послѣднимъ осямъ, сравнительно велика, то и соответствующій двойниковый законъ долженъ встрѣчаться въ исключительныхъ случаяхъ.

Приведенными двойниковыми законами, какъ имѣющими вѣроятное наибольшее распространеніе, мы и ограничимся при построеніи двойниковой діаграммы.

§ 49. Анализъ двойниковъ.

При перечисленіи двойниковыхъ законовъ было указано, что различные законы встрѣчаются не одинаково часто. Если кристаллъ развивается правильно, то должны образовываться только тѣ двойники, которые связаны съ направленіями наибольшихъ силъ сцѣпленія. И дѣйствительно, согласно наблюденіямъ, наиболѣе распространенными являются тѣ двойниковые законы 1-го и 2-го типовъ, элементы которыхъ относятся къ наиболѣе замѣчательнымъ плоскостямъ (010) и (001) . Сюда принадлежатъ законы: *альбитовый*, *манебахскій*, *de l'Esterel*, *карлсбадскій* и *периклиновый*. Законъ: перпендикуляръ къ (100) , относящійся къ 1-му типу, долженъ, повидимому, имѣть незначительное распространеніе, какъ было разъяснено выше. Что касается двойниковыхъ законовъ 3-го типа, связанныхъ съ кристаллографическими осями, то они вообще должны встрѣчаться гораздо рѣже; кромѣ того и констатировать эти законы довольно трудно, такъ какъ они болѣею частью или близки или почти совпадаютъ съ выше перечисленными законами. Вслѣдствіе этого о двойникахъ 3-го типа, какъ отдѣльныхъ кристаллахъ, извѣстно очень мало, и если нѣкоторые изъ этихъ двойниковъ все-таки болѣе или менѣе изучены, то это является слѣдствіемъ слѣдующаго обстоятельства.

Въ своемъ мѣстѣ было упомянуто, что три двойника съ взаимно перпендикулярными осями тѣсно связаны между собою способомъ своего образования. В. В. Никитинъ ¹⁾ показалъ, что если кристаллъ состоитъ изъ пары такихъ двойниковъ, имѣющихъ общіе индивиды, то нѣкоторые изъ послѣднихъ должны быть связаны по третьему закону.

Въ такихъ то комплексныхъ двойниковыхъ кристаллахъ (полигеновыхъ двойникахъ) удавалось лучше всего обнаружить рассматриваемые двойники 3-го типа. Распространенность послѣднихъ зависитъ отъ значенія тѣхъ двойниковъ, съ которыми они образуютъ эти комплексные кристаллы.

Руководствуясь этимъ, можно составить слѣдующія тріады такихъ

¹⁾ Е. Федоровъ и В. Никитинъ. Богословскій Горный Округъ. 1901. стр. 158.

сложныхъ двойниковъ съ взаимноперпендикулярными двойниковыми осями. Эти триады расположены по степени ихъ вѣроятной распространенности.

а) Законы: *альбитовый*, *de l'Esterel* и законъ съ двойниковою осью перпендикуляръ къ $[100]$ въ (010) .

Теоретически такая триада должна встрѣчаться наиболѣе часто, такъ какъ и (010) и $[100]$ являются наиболѣе сильными кристаллографическими элементами, но въ дѣйствительности она была открыта лишь недавно¹⁾, по всей вѣроятности потому, что два послѣдніе законы должны встрѣчаться главнѣйше среди микролитовъ.

б) *Альбитовый*, *карлсбадскій* и *la Roc Tourné*. Такъ какъ альбитовый и карлсбадскій законы встрѣчаются наиболѣе часто среди кристалловъ минералогическихъ коллекцій, то и законъ *la Roc Tourné* („сложный“ Федорова) былъ извѣстенъ уже давно, и вѣроятность его нахожденія при тѣхъ же условіяхъ будетъ наибольшей.

в) *Манебахскій*, *de l'Esterel* и законъ съ двойниковою осью: перпендикуляръ къ $[100]$ въ (001) .

Повидимому по счастливой случайности, послѣдній законъ оказался также изученнымъ, хотя и на немногихъ образцахъ. Можно думать, что и эта триада попадаетъ чаще среди микролитовыхъ образований.

д) *Манебахскій*, *периклиновый* и *Scoré*. По причинамъ, изложеннымъ въ пунктѣ (б), эта триада также довольно хорошо изучена.

е, f) Остальные двѣ триады связаны съ закономъ: перпендикуляръ къ (100) , но такъ какъ послѣдній еще мало извѣстенъ, то вѣроятность нахожденія ихъ также будетъ незначительна.

Хотя указанные двойники 3-го типа и образуются при участіи главныхъ кристаллографическихъ элементовъ, тѣмъ не менѣе они встрѣчаются вообще очень рѣдко.

Поэтому весьма вѣроятно, что двойники 1-го типа, связанные съ осями сцѣпленія 2-го порядка, будутъ встрѣчаться не менѣе, если не болѣе часто. И дѣйствительно, двойниковые законы съ осями: перпендикуляръ къ (110) , перпендикуляръ къ (021) и т. д. уже констатированы неоднократно и болѣе или менѣе изучены.

Что касается двойниковыхъ законовъ 4-го типа, то они будутъ встрѣчаться лишь въ видѣ исключенія при особенныхъ условіяхъ кристаллизаціи. Выше было упомянуто, что среди этихъ законовъ наибольшее значеніе будетъ имѣть законъ съ двойниковою осью, дѣлящей пополамъ уголъ между $[010]$ и $[001]$.

§ 50. Построеніе двойниковой диаграммы.

Послѣ разбора возможныхъ двойниковыхъ законовъ плагиоклазовъ можно приступить къ составленію упомянутой выше двойниковой диаграммы, которая дастъ возможность производить опредѣленіе этихъ минераловъ по ихъ двойниковымъ образованиямъ.

¹⁾ В. В. Никитинъ. Двойники по первой оси etc. Зап. Горн. Ин-та I, 1907; 237.

Для этого необходимо знать расположеніе оптическаго эллипсоида по крайней мѣрѣ въ типичныхъ представителяхъ плагіоклазовъ.

Творецъ метода Е. С. Федоровъ при составленіи своей діаграммы руководствовался¹⁾ главнымъ образомъ работами *M. Lévy*, *M. Schuster* и *Fouqué*, которые дали рядъ константъ для нѣкоторыхъ типовъ плагіоклазовъ. Эти константы представляютъ болѣею частью углы погасанія въ опредѣленныхъ сѣченіяхъ минераловъ, и чтобы по нимъ можно было составить требуемую діаграмму, приходилось произвести цѣлый рядъ построений и вычислений. Конечно, при этомъ трудно было обойтись безъ неизбежныхъ ошибокъ тѣмъ болѣе, что и самыя константы были опредѣлены съ недостаточною степенью точности. Съ другой стороны Федоровская діаграмма²⁾ содержитъ кривыя только для четырехъ, хотя и наиболѣе распространенныхъ двойниковыхъ законовъ.

Вслѣдствіе этого представляется необходимымъ не только исправить, но и пополнить эту діаграмму, что и выполнено, въ предѣлахъ возможности, въ настоящей работѣ.

Прилагаемая при семъ діаграмма (таблица X) построена по восьми членамъ плагіоклазоваго ряда, относящимся къ №№ 5, 13, 20, 25, 37, 52, 75 и 100. Матеріалъ этихъ плагіоклазовъ происходитъ изъ классическихъ мѣсторожденій Зап. Европы и подвергался химическому и оптическому изслѣдованіямъ разными методами и въ разное время. Въ 1906 году *F. Becke* въ своей работѣ: „*Die optischen Eigenschaften der Plagioklase*“ (*Tschermack's Petr. u. Min. Mittheil.* XXV, 1906; 1—42) свелъ всѣ извѣстныя данныя объ этихъ плагіоклазахъ въ видѣ особой діаграммы, показывающей расположеніе осей упругости относительно кристаллографическихъ элементовъ. Эти данныя *Becke*, являющіяся самыми точными до настоящаго времени, и были положены въ основу при построеніи двойниковой діаграммы. Впрочемъ, № 63 діаграммы *Becke* былъ совсѣмъ отброшенъ, а константы № 37 были взяты изъ аналогичной діаграммы *Rosenbusch* (*Mikroskopische Physiographie*, 1905, I₂; Taf. XVII), такъ какъ эти плагіоклазы, по словамъ самого *Becke*, были изслѣдованы имъ въ общемъ наименѣе точно.

Въ такомъ нѣсколько измѣненномъ видѣ діаграмма *Becke* представлена на табл. IX. На ней въ стереографической проекціи нанесены оси упругости означенныхъ типовъ плагіоклазовъ, причемъ за картинную плоскость проекціи принятъ второй пинакоидъ (010), полюсъ котораго совпадаетъ такимъ образомъ съ центромъ сѣтки, а съ вертикальнымъ діаметромъ послѣдней совмѣщена третья кристаллографическая ось *c*. Кромѣ этого на діаграммѣ отмѣчены и обозначены полюсы другихъ плоскостей и направлений, необходимыхъ при дальнѣйшихъ построеніяхъ.

Здѣсь нужно обратить вниманіе на то, что кристаллическія формы

¹⁾ *E. v. Fedorow*. Universalmethode und Feldspathstudien II u. III. Z. f. Kr. 27, 1896, s. 346—350. 29, 1898; s. 627—8.

²⁾ *E. v. Fedorow*. Universalmethode etc. III. Taf. XI.

отдѣльных членовъ плагіоклазового ряда не совсѣмъ одинаковы; однако колебанія въ углахъ между опредѣленными элементами въ общемъ незначительны, и только уголъ между кристаллографическими осями a и b мѣняется въ предѣлахъ около 3° , такъ что положеніе на діаграммѣ оси b нужно находить отдѣльно для cadaго типа плагіоклаза, пользуясь слѣдующими данными¹⁾.

№ плагіоклаза.	$\angle ab$
0	$88^\circ 9'$
20	$90^\circ 4'$
37	$89^\circ 59'$
52	$89^\circ 54'$
100	$91^\circ 13'$

При помощи діаграммы *Becke* очень легко получить всѣ величины, необходимыя для построения двойниковой діаграммы. Дѣйствительно, кривыя послѣдней представляютъ геометрическія мѣста проекцій двойниковой оси, отнесенной къ осямъ упругости, какъ координатнымъ осямъ. Но кристаллографическое значеніе двойниковой оси для cadaго закона намъ уже извѣстно; поэтому, чтобы найти требуемыя координаты, нужно смѣрять на діаграммѣ *Becke* углы между соотвѣтствующимъ кристаллографическимъ направленіемъ и осями упругости даннаго типа плагіоклаза, что съ успѣхомъ можетъ быть выполнено при помощи трехногаго циркуля или накладной прозрачной сѣтки.

Чтобы при построении діаграммы избѣжать неопредѣленности, нужно условиться придавать полученнымъ координатамъ извѣстные знаки. При опредѣленіи послѣднихъ лучше всего исходить изъ принятаго расположенія кристалловъ полевыхъ шпатовъ. Эти кристаллы устанавливаются обыкновенно такимъ образомъ, что тупой уголъ между (001) и (010) находится вправо отъ наблюдателя, а грань (001) наклонена впередъ. Такъ какъ въ большинствѣ типовъ полевыхъ шпатовъ оси упругости занимаютъ приблизительно положеніе, изображенное на фиг. 40-ой, то согласно принятому въ математикѣ условію, направленія координатныхъ осей n_x , n_m и n_p соотвѣтственно вправо, вверхъ и впередъ нужно считать положительными. Сообразно съ этимъ на діаграммѣ *Becke* всѣ проекціи оси n_g , равно какъ и проекціи осей n_m и n_p , находящіяся соотвѣтственно въ верхней и лѣвой половинахъ сѣтки, опредѣляютъ положительныя координаты. Поэтому, на примѣръ, координаты двойниковой оси по альбитовому закону для № 13 будутъ имѣть слѣдующій видъ:

¹⁾ А. Lacroix. Minéralogie de la France et des ses colonies. II. 1897: p. 131.

$$\angle \perp (010) \begin{cases} n_g = +10^\circ. \\ n_m = +80^\circ. \\ n_p = 89^\circ. \end{cases}$$

Раньше уже было указано, какъ принято располагать координатныя оси въ двойниковой діаграммѣ. Примемъ теперь, что проекціи положительныхъ направлений осей n_g и n_p находятся соотвѣтственно на правомъ концѣ горизонтальнаго и на нижнемъ концѣ вертикальнаго діаметра сѣтки. Что касается проекціи оси n_m , совпадающей съ центромъ сѣтки, то она можетъ имѣть только одно значеніе, которое въ данномъ случаѣ будетъ положительнымъ. Поэтому, если соотвѣтствующая координата имѣетъ отрицательный знакъ, то нужно измѣнить у всѣхъ трехъ координатъ знаки на обратные. Равнымъ образомъ, если координата при той же оси n_m превышаетъ 90° , то нужно взять дополненіе до 180° съ обратнымъ знакомъ и, если понадобится, произвести затѣмъ вышеупомянутое преобразование.

Въ построенной такимъ образомъ діаграммѣ кривыя, тождественныя съ кривыми Федоровской діаграммы, расположены такъ же, какъ и въ послѣдней, но координатныя оси, какъ это видно изъ статьи Е. Стратановичъ¹⁾, поляризовавшаго методъ, имѣютъ обратныя значенія. Въ приведенной статьѣ не сказано, какими соображеніями руководствовался авторъ при опредѣленіи знака этихъ осей; въ дальнѣйшемъ будетъ выяснено, что это является результатомъ произвольнаго допущенія.

Новая діаграмма заключаетъ въ себѣ кривыя для всѣхъ выведенныхъ выше двойниковыхъ законовъ плагіоклазовъ, причемъ нѣкоторыя кривыя соотвѣтствуютъ двумъ законамъ, настолько близкимъ другъ къ другу, что въ масштабѣ діаграммы разница въ положеніи обѣихъ кривыхъ почти не ощутительна.

По распространенности тѣхъ или другихъ законовъ послѣдніе разбиты на три категоріи, отмѣченныя различной толщиною линій соотвѣтствующихъ кривыхъ. Въ первую категорію внесены двойниковые законы 1-го и 2-го типовъ, связанные съ плоскостями кристалловъ (001) и (010); эти законы обыкновенно и встрѣчаются на практикѣ, и отвѣчающія имъ кривыя выдѣляются своей толщиною. Ко 2-й категоріи причислены первые четыре двойниковыхъ закона 3-го типа и законы 1-го типа, связанные съ плоскостями $(1\bar{1}0)$, $(0\bar{2}1)$, (021) и (100) .

Наконецъ, остальные законы, какъ встрѣчающіеся вообще очень рѣдко, отмѣчены пунктирными кривыми.

Обращаясь къ разсмотрѣнію характера кривыхъ діаграммы, можно отмѣтить, что въ общемъ случаѣ онѣ состоятъ изъ сочетанія трехъ дугъ, какъ бы указывающихъ на то, что весь плагіоклазовый рядъ разбива-

¹⁾ Е. Стратановичъ. Опредѣленіе плагіоклазовъ по новѣйшему способу Федорова. Зап. Мин. О-ва. 37, сер. II. Стр. 268.

ется на три неравныя части, въ предѣлахъ которыхъ эти минералы представляютъ настоящія изоморфныя соединенія. Какъ можно видѣть изъ діаграммы, предѣльными членами этихъ частныхъ изоморфныхъ рядовъ являются приблизительно №№ 0, 20, 50 и 100.

На Федоровской діаграммѣ отмѣчено положеніе двойниковой оси для cadaго десятого № плагіоклаза, что сдѣлано при помощи интерполированія между точками, соотвѣтствующими болѣе или менѣе точно установленнымъ химически видамъ этихъ минераловъ. Конечно, калиброваніе діаграммы такимъ именно образомъ является нѣсколько произвольнымъ, и ни одна изъ имѣющихся на ней точекъ не можетъ претендовать на особенную точность. Поэтому на кривыхъ новой діаграммы отмѣчены только тѣ точки, которыя отвѣчаютъ взятымъ типамъ плагіоклазовъ, по которымъ построена и самая діаграмма, и только отмѣчены предположительно положенія двойниковой оси для № 0.

Имѣющимися на діаграммѣ точками кривыя разбиваются на семь частей, что можно считать достаточнымъ для опредѣленія промежуточныхъ плагіоклазовъ съ точностью до 2 номеровъ.

Само собою разумѣется, что для бѣльшаго удобства, но не точности, можно интерполированіемъ разбить эти кривыя на меньшіе участки, но при этомъ необходимо оставить отмѣченными всѣ первоначальныя точки, какъ найденныя наиболѣе точно.

Построеніе діаграммы можетъ быть провѣрено слѣдующимъ образомъ.

Выше былъ отмѣченъ рядъ двойниковыхъ законовъ, имѣющихъ взаимно перпендикулярныя оси. Очевидно, точки соотвѣтствующихъ кривыхъ діаграммы, принадлежащія одному и тому-же номеру плагіоклаза, должны отстоять одна отъ другой на 90° . Эта повѣрка исполняется обычными приѣмами.

Затѣмъ двойниковые законы можно разбить на группы, характеризующія тѣмъ, что ихъ оси находятся въ одной плоскости, или что двойниковыя плоскости относятся къ одной зонѣ. Напримѣръ, одну такую группу составляютъ законы альбитовый, манебахскій, перпендикуляръ къ (021), перпендикуляръ къ (021), перпендикуляръ къ [100] въ (001) и перпендикуляръ къ [100] въ (010).

Не трудно видѣть, что точки соотвѣтствующихъ кривыхъ, принадлежащія одному и тому же номеру плагіоклаза, должны лежать на одной дугѣ большого круга, полюсъ которой будетъ совпадать съ соотвѣтствующей точкой кривой [100].

Всѣми этими повѣрками опредѣляется правильность построеній по даннымъ діаграммы *Веске*. Настоящая же повѣрка самыхъ кривыхъ принадлежитъ, конечно, будущимъ минералогическимъ работамъ, задача **которыхъ** заключается въ опредѣленіи двойниковыхъ образованій химически установленныхъ типовъ полевыхъ шпатовъ.

§ 51. Анализъ двойниковой діаграммы.

Построенная двойниковая діаграмма можетъ служить для опредѣленія плагіоклазовъ по найденнымъ координатамъ двойниковой оси послѣднихъ. Если бы можно было въ каждомъ частномъ случаѣ придавать этимъ координатамъ опредѣленный знакъ, то, откладывая ихъ на діаграммѣ, мы получили бы единственную точку, опредѣляющую номеръ и двойниковый законъ даннаго зерна минерала. Такимъ образомъ въ рѣшеніи вопроса не было бы никакой неопредѣленности. Но опредѣлить знаки, какъ мы знаемъ, можно лишь при томъ условіи, если данное зерно подвергается опредѣленной установкѣ, для чего необходимо присутствіе, по крайней мѣрѣ, двухъ главныхъ плоскостей кристалла (001) и (010). Между тѣмъ, въ зернахъ полевыхъ шпатовъ, опредѣляемыхъ въ шлифахъ горныхъ породъ, въ лучшемъ случаѣ можно найти только одну такую плоскость, главнымъ образомъ въ видѣ спайности. Вслѣдствіе этого приходится ограничиться нахожденіемъ лишь абсолютныхъ величинъ координатъ двойниковой оси, и въ этомъ случаѣ рѣшеніе задачи очень часто сопровождается неопредѣленностью. Дѣйствительно, при отложеніи найденныхъ координатъ на діаграммѣ получаются четыре точки, которыя могутъ указать не только на различные законы двойниковаго образованія, но и на различные номера плагіоклазовъ.

Обратимся къ разсмотрѣнію діаграммы, чтобы опредѣлить, когда будутъ встрѣчаться неопредѣленные рѣшенія. Какъ извѣстно, самымъ распространеннымъ двойниковымъ закономъ является альбитовый, между тѣмъ при опредѣленіи его какъ-разъ и приходится наталкиваться на двусмысленныя рѣшенія. Въ самомъ дѣлѣ, кривая альбитоваго закона раздѣляется на двѣ симметричныя части, относящіяся къ различнымъ полюсамъ оси n_z ; поэтому въ части плагіоклазоваго ряда между №№ 0—36 опредѣленіе № плагіоклаза только по одному двойниковому образованію совершенно не возможно. Дѣло осложняется еще тѣмъ обстоятельствомъ, что рядомъ съ альбитовой кривой на очень близкомъ разстояніи отъ нея помѣщается кривая периклиноваго закона, почему при допущеніи даже небольшой неточности въ опредѣленіи координатъ можно не только смѣшать эти два закона, но и получить плагіоклазъ, отличающійся номера на четыре отъ дѣйствительнаго.

То же самое нужно сказать и относительно закона *de l'Esterel*, кривая котораго также разбивается на двѣ части. Этотъ случай является еще болѣе сложнымъ, такъ какъ на извѣстномъ протяженіи съ данной кривой почти совпадаетъ кривая закона *la Roc Tourné*, причемъ плагіоклазы, соотвѣтствующіе параллельнымъ точкамъ этихъ кривыхъ, отличаются болѣе, чѣмъ на 25 номеровъ.

Нѣсколько лучше обстоитъ дѣло съ манебахской и карлсбадской кривыми, но и онѣ сопровождаются параллельными кривыми другихъ за-

коновъ, и многія точки ихъ имѣютъ свои аналоги на кривыхъ $\perp(110)$, *la Ros Tourné* и нѣкоторыхъ другихъ.

Что касается законовъ, кривыя которыхъ очень близки или совпадаютъ почти съ кривыми болѣе распространенныхъ двойниковыхъ образованій, то опредѣленіе ихъ возможно болѣею частью лишь при наличности одного или нѣсколькихъ извѣстныхъ кристаллографическихъ элементовъ, имѣющихъ вполнѣ опредѣленное отношеніе къ данной двойниковой оси. Такъ, законъ: перпендикуляръ къ $[100]$ въ (010) легко отличимъ отъ близкаго ему манебахскаго тѣмъ, что его двойниковая ось лежитъ въ плоскости спайности (010) и т. д.

Ограничиваясь только этимъ бѣглымъ обзоромъ діаграммы, мы уже видимъ, что сравнительно рѣдко можно сдѣлать надлежащее опредѣленіе плагіоклаза при помощи изслѣдованія одного только двойниковаго образованія. Къ этому еще нужно прибавить, что иногда двойниковая ось отклоняется отъ надлежащаго положенія въ кристаллѣ, и тогда, очевидно, координаты ея дадутъ на діаграммѣ точку, которая или совсѣмъ не лежитъ на имѣющихся кривыхъ или соответствуетъ совершенно другому плагіоклазу.

Такое отклоненіе двойниковой оси должно обуславливаться главнымъ образомъ вліяніемъ подмѣсей K^2O и BaO , часто отмѣчаемыхъ въ анализахъ плагіоклазовъ; но какъ сильно дѣйствіе этихъ элементовъ, и въ какую сторону производятъ они отклоненіе—является еще совершенно не выясненнымъ.

Съ другой стороны, отмѣченная аномальность въ координатахъ двойниковой оси можетъ быть слѣдствіемъ закономѣрнаго сростанія индивидовъ, относящихся къ различнымъ номерамъ плагіоклазовъ. Объ одномъ такомъ двойникѣ упоминаетъ Е. С. Федоровъ¹⁾.

Такимъ образомъ не только нельзя ограничиваться разсмотрѣніемъ одного двойниковаго образованія плагіоклаза, но приходится подвергать возможному изслѣдованію каждый индивидъ двойника.

Наконецъ, произвольное положеніе проекціи двойниковой оси на діаграммѣ можетъ отвѣчать какому-нибудь не принятому во вниманіе двойниковому закону, связанному, напримѣръ, съ гранями (111) или (201) . Точное констатированіе такого закона требуетъ, конечно, тщательнаго минералогическаго изученія даннаго кристалла.

Конечно, при массовомъ опредѣленіи минераловъ въ шлифахъ горныхъ породъ часто можно обходиться и однѣми координатами двойниковой оси, такъ какъ и общій характеръ породы и существующій парагенезисъ составныхъ частей послѣдней даютъ указаніе на то, какой изъ двухъ или большаго числа отвѣчающихъ даннымъ координатамъ номеровъ плагіоклаза является наиболѣе вѣроятнымъ. Кромѣ того, въ такихъ случаяхъ всегда можно найти зерно даннаго минерала, представля-

¹⁾ *E. v. Fedorow. Universalmethode etc. III, 648.*

ющее сложный двойникъ, образованный по нѣсколькимъ законамъ. Изъ сравненія результатовъ изслѣдованія каждаго двойниковаго образования такого кристалла можно нерѣдко получить прямое рѣшеніе вопроса.

§ 52. О способъ опредѣленія плагіоклазовъ помощью координатъ полюса слѣда спайности.

Какъ бы то ни было, опредѣленіе плагіоклазовъ по координатамъ полюса двойниковой оси является болѣею частью недостаточнымъ, такъ какъ обыкновенно возникаютъ различныя неопредѣленности.

Авторъ универсальнаго метода предложилъ слѣдующій способъ разрѣшенія возникающей неопредѣленности. Способъ требуетъ, чтобы въ изслѣдуемомъ зернѣ находились трещинки спайности по какой-нибудь изъ двухъ плоскостей (010) и (001).

Отмѣчая на рабочей сѣткѣ положеніе этой плоскости, измѣряютъ координаты полюса слѣда спайности, изображаемаго соотвѣтствующимъ діаметромъ сѣтки, и, придавши полученнымъ координатамъ извѣстные знаки, находятъ на двойниковой діаграммѣ проекцію этого слѣда. Дальнѣйшее построеніе основано на слѣдующемъ: если провести плоскость, перпендикулярную данному слѣду спайности, то она будетъ заключать въ себѣ нормаль къ послѣдней; но геометрическія мѣста проекцій этихъ нормалей для всего ряда плагіоклазовъ представляютъ на двойниковой діаграммѣ кривыя альбитоваго и манебахскаго законовъ.

Итакъ, если проекцію слѣда спайности принять за полюсъ дуги и провести послѣднюю, то въ пересѣченіи ея съ соотвѣтствующей кривой получится точка, указывающая на № даннаго плагіоклаза. Иногда эта дуга пересѣкаетъ обѣ кривыя, но общій характеръ спайности и отношеніе ея къ осямъ упругости опредѣляетъ, какой плоскости она принадлежитъ.

Такимъ образомъ этотъ способъ изслѣдованія плагіоклазовъ аналогиченъ основному методу и только сложнее послѣдняго. Но, можетъ быть, онъ имѣетъ то преимущество, что позволяетъ придавать координатамъ полюса слѣда спайности опредѣленные знаки?

Е. С. Федоровъ ¹⁾ эмпирическимъ путемъ пришелъ къ тому выводу, что полученнымъ координатамъ нужно придавать значенія одной изъ трехъ комбинацій:

$$\begin{array}{ccccc} - & a & + & a & - & a \\ + & b & + & b & + & b \\ + & c & - & c & - & c \end{array}$$

въ зависимости отъ положенія полюса слѣда въ томъ или другомъ изъ участковъ сѣтки, на которые послѣдняя разбивается проекціями главныхъ плоскостей симметріи оптического эллипсоида.

¹⁾ Е. в. Fedorow. Universal methode etc. III, 643.

Но уже при одномъ взглядѣ на приведенныя выше значенія координатъ видно, что они удовлетворяютъ только частному случаю, когда — именно — полюсъ данной плоскости спайности находится въ первомъ октантѣ, образуемомъ координатными осями N_g , N_m и N_p . Между тѣмъ слѣдъ спайности въ зависимости отъ положенія въ кристаллѣ плоскости послѣдней и сѣченія препарата можетъ занимать любое положеніе, почему и знаки координатъ полюса слѣда этой спайности должны представлять восемь или, при условіи всегда положительнаго значенія координаты по оси N_m , четыре возможныхъ комбинацій, а не три, какъ сказано выше. Не удивительно поэтому, что опредѣленіе плагиоклазовъ по описанному способу даетъ часто неопредѣленные результаты.

Послѣднее обстоятельство Е. С. Федоровъ *) объясняетъ существованіемъ неблагопріятныхъ для даннаго минерала сѣченій. Мы только — что видѣли, что вѣроятность благопріятныхъ сѣченій не больше $\frac{1}{4}$. Вообще, координатамъ полюса слѣда спайности, какъ и координатамъ полюса двойниковой оси, только въ томъ случаѣ можно придавать опредѣленные знаки, если извѣстны, по крайней мѣрѣ, двѣ плоскости (001) и (010), при помощи которыхъ изслѣдуемый кристаллъ поддается извѣстной установкѣ.

Поэтому разбираемый способъ, какъ довольно сложный и въ общемъ совершенно аналогичный методу опредѣленія плагиоклазовъ по координатамъ двойниковой оси, долженъ быть оставленъ.

Этотъ способъ тѣмъ болѣе не приложимъ, если вмѣсто слѣда спайности воспользоваться слѣдомъ двойниковаго срастанія, какъ это рекомендуется особенно Е. Стратановичъ. Дѣйствительно, плоскость срастанія двойниковъ не всегда имѣетъ постоянное кристаллографическое значеніе, и основываться на ней при болѣе или менѣе точныхъ изслѣдованіяхъ совершенно невозможно. Поэтому, между прочимъ, ориентировка препарата по двойниковому шву или слѣду спайности, принимаемая обыкновенно для удобства измѣренія соотвѣствующихъ координатъ, является излишней и вноситъ только замедленіе въ работу.

*) Ibidem, s. 647.

Г л а в а П.

Дополнительные способы опредѣленія плагіоклазовъ.

Выше мы видѣли, что опредѣленіе плагіоклазовъ по координатамъ двойниковой оси, не смотря на исключительное значеніе самаго метода, является при изслѣдованіи горныхъ породъ вообще недостаточнымъ.

Для уничтоженія двусмысленности, возникающей при рѣшеніи вопроса, къ какому номеру относится данный плагіоклазъ или по какому закону образованъ его двойникъ, необходимо прибѣгать къ дополнительнымъ изслѣдованіямъ, которыя вмѣстѣ съ тѣмъ часто характеризуютъ различныя свойства этихъ минераловъ. Описаніе этихъ изслѣдованій послѣдуетъ въ нижеприводимомъ порядкѣ.

§ 53. Уголъ между оптическими осями.

Уголъ между оптическими осями, опредѣленіе котораго возможно почти въ любомъ зернѣ плагіоклаза, иногда помогаетъ разобраться въ той неопредѣленности, которая получается при нахожденіи номера этого полевого шпата помощью координатъ двойниковой оси.

Этотъ уголъ въ типахъ плагіоклазовъ, подвергавшихся точному изслѣдованію, имѣетъ слѣдующія значенія ¹⁾).

№№ плагіоклазовъ.	2V.
5	+78° ₅
13	+85° ₅
20	—86°
25	—81°
37	90°
52	+75°
63	+82°
75	—86°
100	—76° ₅

Какъ видно изъ таблицы, уголъ между оптическими осями у различныхъ представителей плагіоклазового ряда измѣняется въ различныхъ направленіяхъ, но, безусловно, въ виду изоморфизма этого ряда, не можетъ быть рѣзкаго скачка между данными константами, принадлежащими двумъ рядомъ стоящимъ разновидностямъ плагіоклазовъ. Поэтому измѣненіе угла между оптическими осями послѣднихъ должно

¹⁾ F. Becke. Die optischen Eigenschaften der Plagioklasse. Tsch. M. P. M. XXV, s. 20.

подчиняться какой-нибудь закономерности, которую легко получить графически въ видѣ діаграммы, изображенной на фигурѣ 41-ой.

Изъ этой діаграммы видно, что $2V$ измѣняется по закону, выражающемуся приблизительно синусоидальной кривой. Если бы послѣдняя для всего плагиоклазового ряда представляла только полволны, то опредѣленіе плагиоклазовъ можно было бы основывать на величинѣ угла между оптическими осями. Но діаграмма состоитъ изъ $1\frac{1}{2}$ волнъ, вслѣдствіе чего эта константа лишь въ частныхъ случаяхъ можетъ вполне характеризовать изслѣдуемый плагиоклазъ.

Такъ, мы видѣли, что въ случаѣ альбитоваго закона всегда получается двусмысленное рѣшеніе въ предѣлахъ между №№ 0 и 36, такъ какъ плагиоклазы, одинаково удаленные отъ № 21, имѣютъ приблизительно одинаковые координаты двойниковой оси.

Вотъ въ этомъ случаѣ величина $2V$, какъ видно изъ только что приведенной діаграммы, часто можетъ рѣшить неопредѣленность и тѣмъ лучше, чѣмъ дальше отстоятъ другъ отъ друга сравниваемые номера этихъ минераловъ.

То же самое относится и къ другимъ кривымъ, имѣющимъ точки съ одинаковыми по абсолютной величинѣ координатами. Очевидно, въ каждомъ частномъ случаѣ легко опредѣлить, руководствуясь діаграммой, значеніе константы $2V$ въ смыслѣ разрѣшенія возникающей при опредѣленіи плагиоклазовъ неопредѣленности. Во всякомъ случаѣ, необходимо всегда находить уголъ между оптическими осями, такъ какъ часто только эта константа, какъ увидимъ ниже, позволяетъ отличить нѣкоторые плагиоклазы отъ похожихъ на нихъ другихъ видовъ полевыхъ шпатовъ.

§ 54. Величина двупреломленія.

Подобно углу между оптическими осями и величина двупреломленія плагиоклазовъ, на основаніи формулы $\operatorname{tg} \frac{v_p}{2} = \sqrt{\frac{n_g - n_m}{n_m - n_p}}$, представляется константой, измѣненіе которой должно подчиняться довольно сложному закону. Чтобы опредѣлить послѣдній, выведемъ величину двупреломленія плагиоклазовъ, пользуясь главными показателями преломленія послѣднихъ.

Нижеслѣдующая таблица взята изъ вышеуказанной работы *F. Bescke* (s 30) и только дополнена данными *M. Lévy* для плагиоклаза № 40.

№№ плаги- клавовъ.	Показатели преломленія.		
	n_g	n_m	n_p
5	1.5387	1.5321	1.5285
13	1.5431	1.5381	1.5341
20	1.5463	1.5428	1.5388
25	1.5490	1.5458	1.5417

№№ плагіоклазовъ	Показатели преломленія.		
	n_g	n_m	n_p
40	1.5560	1.5530	1.5490
52	1.5632	1.5583	1.5553
75	1.5730	1.5690	1.5640
100	1.5885	1.5835	1.5756

Пользуясь этой таблицей, строимъ діаграмму, показывающую зависимость между величиною двупреломленія по главнымъ сѣченіямъ плагіоклазовъ и составомъ послѣднихъ (фиг. 42). Кривыя этой діаграммы имѣютъ волнообразный видъ, почему въ общемъ случаѣ выведенными константами нельзя пользоваться для опредѣленія плагіоклазовъ, но такъ же, какъ и углы между оптическими осями, онѣ помогаютъ разбираться въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ.

Такъ, величины $(n_g - n_p)$ и $(n_g - n_m)$ довольно хорошо позволяютъ отличать андезинъ отъ альбита, которые очень часто не поддаются раздѣленію при опредѣленіи помощью координатъ полюса двойниковой оси.

Затѣмъ величины $(n_g - n_p)$ и $(n_m - n_p)$ вполне отдѣляютъ битовнитъ отъ анортита, которые въ нѣкоторыхъ случаяхъ, напримѣръ при образованіи двойниковъ по карлсбадскому закону, трудно отличимы другъ отъ друга.

Вообще, опредѣленіе величины двупреломленія плагіоклазовъ приносить существенную пользу только при нѣкоторыхъ комбинаціяхъ тѣхъ результатовъ, которые получаются при изслѣдованіи этихъ минераловъ. Къ этому нужно еще прибавить, что, благодаря несовершенству методовъ измѣренія величинъ двупреломленія, примѣненіе послѣднихъ при опредѣленіи плагіоклазовъ должно быть еще болѣе ограниченнымъ.

Впрочемъ, во второй части настоящей работы было упомянуто, что косвенный методъ опредѣленія двупреломленія путемъ сравненія изслѣдуемаго минерала съ лежащимъ рядомъ въ шлифѣ вполне опредѣленнымъ минераломъ является довольно удобнымъ и даетъ болѣею частью хорошіе результаты, и что въ качествѣ такого шаблона можно примѣнить исключительно кварцъ. Послѣдній минералъ встрѣчается преимущественно въ кислыхъ породахъ, плагіоклазы которыхъ по своей основности рѣдко превышаютъ № 40. Но кислая половина плагіоклазового ряда представляетъ какъ разъ наибольшія затрудненія для главного метода опредѣленія этихъ минераловъ, между тѣмъ какъ величиною двупреломленія она характеризуется довольно отчетливо. Такимъ образомъ въ гранитахъ и родственныхъ имъ породахъ измѣреніе двупреломленія плагіоклазовъ можетъ оказать большую помощь при опредѣленіи послѣднихъ. Что касается выбора сѣченій минерала для этого измѣренія, то нужно предпочитать тѣ, которыя даютъ наибольшія по абсолютному значенію величины двупреломленія, именно $(n_g - n_p)$.

§ 55. *Опредѣленіе плагіоклазовъ по принципу Fouqué.*

Углы погасанія на плоскостяхъ (001) и (010), считавшіеся до послѣдняго времени наиболѣе важными оптическими константами плагіоклазовъ, служившими для практическаго опредѣленія послѣднихъ, не могутъ имѣть универсальнаго значенія въ виду того, что при пользованіи ими необходимы препараты, сѣченія которыхъ ориентированы по вышеуказаннымъ плоскостямъ. Правда, при работѣ на Федоровскомъ столикѣ нѣтъ надобности имѣть шлифы ориентированнаго сѣченія, но зато требуется присутствіе въ изслѣдуемомъ зернѣ обѣихъ плоскостей спайности (001) и (010), позволяющихъ опредѣлить эти углы погасанія. Но, если зерно плагіоклаза обладаетъ двумя системами трещинокъ спайности, подвергающихся установкѣ, то незачѣмъ прибѣгать къ помощи такихъ константъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ координаты оси зоны даютъ возможность сдѣлать точное опредѣленіе.

Другое дѣло—когда имѣется только одна система трещинокъ спайности; тутъ и въ универсально-оптическій методъ изслѣдованія мы можемъ ввести понятіе объ углахъ погасанія, воспользовавшись только для этого плоскостями упругости минерала.

Выше было уже упомянуто (§ 45) о такихъ углахъ погасанія, примѣненныхъ впервые М. Fouqué для опредѣленія именно плагіоклазовъ. Представляя шагъ впередъ въ дѣлѣ изученія послѣднихъ, методъ Fouqué все же не имѣлъ общаго значенія въ виду того, что изслѣдованію могли подвергаться только сѣченія, болѣе или менѣе близкія плоскостямъ $n_g n_m$ и $n_m n_p$, между тѣмъ далеко не всякое зерно этихъ минераловъ въ шлифахъ горныхъ породъ удовлетворяетъ такому условію.

Но при работѣ на Федоровскомъ столикѣ всякій индивидъ плагіоклаза, обладающій ясно выраженной спайностью можетъ подвергнуться указанному испытанію, причемъ вполне опредѣлимы углы погасанія и на плоскости $n_g n_p$. Дѣйствительно, нанеся на сѣткѣ всѣ плоскости упругости и плоскость спайности, мы непосредственнымъ измѣреніемъ при помощи трехногаго циркуля опредѣляемъ углы, образуемые линіей пересѣченія плоскости спайности съ каждымъ главнымъ сѣченіемъ минерала и какой-нибудь осью упругости, лежащей въ послѣдней.

Эти углы погасанія можно провѣрить и на препаратѣ, если только ось упругости, перпендикулярная выбранному главному сѣченію минерала, совмѣщается съ осью микроскопа.

М. Fouqué¹⁾ далъ неполныя таблицы для угловъ погасанія на плоскостяхъ, перпендикулярныхъ только осямъ n_g и n_p . Чтобы сдѣлать возможнымъ подробное изслѣдованіе плагіоклазовъ описываемымъ методомъ, намъ необходимо составить такія таблицы для всѣхъ трехъ глав-

¹⁾ Fouqué. Contribution à l'étude des feldspaths d s roches volcaniques. Bull. soc. fr. min. 1894; 422—28.

ныхъ сѣченій этихъ минераловъ и для обѣихъ главныхъ плоскостей спайности (010) и (001).

Эти данныя легко найти хотя бы на двойниковой діаграммѣ, гдѣ координатныя плоскости представляютъ сѣченія, перпендикулярныя осямъ упругости, а кривыя альбитоваго и манебахскаго законовъ являются геометрическими мѣстами полюсовъ плоскостей обѣихъ спайностей для всего плагиоклазоваго ряда. Проведя проекціи этихъ плоскостей для различныхъ представителей плагиоклазовъ, мы обычнымъ образомъ измѣряемъ необходимые углы. Такъ какъ данный методъ стоитъ употреблять лишь въ томъ случаѣ, когда ориентировка изслѣдуемаго зерна вообще невозможна, то при этомъ измѣреніи можно брать только абсолютныя величины угловъ.

Найдя послѣднія, выразимъ графически зависимость между составомъ плагиоклазовъ и соответствующими углами погасанія, для чего на оси абсциссъ ортогональной проекціи будемъ откладывать первый, а на оси ординатъ послѣдніе.

Построенная такимъ образомъ діаграмма (фиг. 43) распадается на три части соответственно сѣченіямъ, перпендикулярнымъ осямъ n_g , n_m и n_p , и каждая часть состоитъ изъ двухъ кривыхъ, отвѣчающихъ угламъ погасанія, относимымъ къ плоскостямъ спайности (001) и (010). Въ названіи каждой кривой указаны стороны измѣряемыхъ угловъ: такъ, кривая n_g (001) соответствуетъ угламъ погасанія, одной стороной которыхъ является ось n_g , а другой—слѣдъ спайности (001) на выбранномъ сѣченіи минерала, перпендикулярномъ оси n_m . Кривыя не вездѣ изображены сплошной линіей: пунктиръ соответствуетъ тому случаю, когда плоскость спайности образуетъ съ выбраннымъ сѣченіемъ острый уголъ, благодаря чему опредѣленіе угла становится неопредѣленнымъ, такъ какъ небольшая ошибка въ нахожденіи линіи пересѣченія указанныхъ плоскостей влечетъ за собою сильное измѣненіе въ измѣряемомъ углѣ. Такими частями кривыхъ нужно пользоваться только тогда, когда соответствующіе углы погасанія могутъ быть наблюдаемы непосредственно въ препаратѣ.

Выведенную діаграмму можно употреблять съ двоякою цѣлью:

1) Если извѣстно значеніе плоскости спайности, то углы погасанія будутъ служить для опредѣленія плагиоклаза. Правда, мы видимъ, что только вторыя половины кривыхъ діаграммы дадутъ вполне опредѣленные рѣшенія; однако, если найти углы погасанія на всѣхъ трехъ плоскостяхъ, то, сравнивая ихъ между собою, мы очень часто можемъ избѣжать неопредѣленности.

Для иллюстраціи возьмемъ слѣдующій примѣръ. Пусть углы погасанія въ изслѣдуемомъ зернѣ плагиоклаза, отнесенные къ плоскости спайности по (010), выражаются такими величинами:

$$\begin{aligned}\angle n_m (010) &= 15^\circ \\ \angle n_p (001) &= 6^\circ \\ \angle n_g (010) &= 88^\circ\end{aligned}$$

Обращаясь къ діаграммѣ, мы видимъ, что первому углу отвѣчаютъ плагіоклазы №№ 5 и 42, а остальные углы характеризуютъ вообще кислые члены плагіоклазового ряда, не превышающіе № 33. Такимъ образомъ нужно принять, что данный плагіоклазъ относится къ № 5.

2) Выше мы полагали, что кристаллографическое значеніе плоскости спайности намъ извѣстно. Но отличать спайность по внѣшнему ея проявленію, собственно, нельзя—тѣмъ болѣе, что иногда и второстепенная спайность по (110) или (111) достигаетъ значительнаго совершенства. Такимъ образомъ сначала нужно опредѣлить характеръ спайности, а потомъ уже приступить къ нахожденію № плагіоклаза.

Характеръ спайности узнается также сопоставленіемъ на діаграммѣ измѣренныхъ угловъ погасанія.

Пусть—для примѣра—углы погасанія равняются:

на плоскости, перпендикулярной оси n_p	65°
„ „ „ „ n_g	32°
„ „ „ „ n_m	50°.

На діаграммѣ мы видимъ, что приведеннымъ угламъ погасанія отвѣчаютъ различныя кривыя и различныя номера плагіоклазовъ, что, конечно, невозможно. Поэтому нужно предположить, что это несоотвѣтствіе является результатомъ или неправильныхъ наблюденій или того обстоятельства, что данная спайность не принадлежитъ къ плоскостямъ (001) или (010). Въ данномъ случаѣ мы не можемъ уже пользоваться діаграммой для опредѣленія самаго плагіоклаза.

Нужно еще отмѣтить, что если изслѣдуемый плагіоклазъ относится къ кислой половинѣ ряда, а полюсъ спайности лежитъ около оси n_g или n_m , то спайность относится соотвѣтственно къ (010) или (001).

§ 56. Опредѣленіе плагіоклазовъ помощью полюса плоскости спайности.

Мы видѣли, что присутствіе хотя одной системы трещинокъ спайности необходимо для безусловно точнаго опредѣленія плагіоклаза. Такъ, при помощи ея находятся вышеописанные углы погасанія и часто только въ ея присутствіи возможно опредѣленіе величины двупреломленія.

Теперь мы покажемъ, что спайность можетъ вполне замѣнить двойниковое образованіе въ смыслѣ опредѣленія номера плагіоклаза по двойниковой діаграммѣ. Дѣйствительно, нормаль къ плоскостямъ спайности (001) и (010) представляетъ двойниковую ось законовъ манебахскаго и альбитоваго, почему координаты этой нормали можно принять за координаты соотвѣтствующей двойниковой оси и по нимъ сдѣлать опредѣленіе номера плагіоклаза на двойниковой діаграммѣ.

Выше уже было указано, какъ опредѣлять кристаллографическое значеніе плоскости спайности. Попутно съ опредѣленіемъ координатъ

полюса послѣдней можно измѣрить и углы погасанія на главныхъ сѣченіяхъ минерала и такимъ образомъ сдѣлать опредѣленіе плагиоклаза болѣе или менѣе полнымъ.

Къ этому нужно прибавить, что если изслѣдуемое зерно представляетъ двойниковое образованіе по одному изъ двухъ вышеуказанныхъ законовъ и обладаетъ спайностью, плоскость которой совпадаетъ съ соотвѣтствующею двойниковою плоскостью, то очень удобно провѣрить правильность нахождения тѣхъ и другихъ элементовъ. Такъ, полюсъ двойниковой оси по альбитовому закону долженъ совпадать съ полюсомъ спайности по (010).

Наконецъ, только въ присутствіи плоскости спайности можно отличить двойниковые законы, оси которыхъ для нѣкоторыхъ номеровъ плагиоклаза имѣютъ почти одинаковыя координаты. Обращаясь къ двойниковой діаграммѣ, мы видимъ, наприимѣръ, что кривыя законовъ: $[001]$ и перпендикуляръ къ $(1\bar{1}0)$ почти совпадаютъ при абсолютной величинѣ координатъ полюса двойниковой оси.

Недоразумѣніе разрѣшается легко, если имѣется спайность по (010), такъ какъ въ случаѣ двойника по карлсбадскому закону двойниковая ось должна лежать въ плоскости этой спайности, между тѣмъ какъ двойниковая ось—перпендикуляръ къ $(1\bar{1}0)$ будетъ находится далеко отъ послѣдней. Если при тѣхъ же условіяхъ изслѣдуемое зерно будетъ обладать спайностью по (001), то задача различенія законовъ рѣшается также достаточно удовлетворительно; для этого нужно измѣрить угловое разстояніе между полюсами спайности и двойниковой оси на рабочей сѣткѣ и сравнить его съ соотвѣтствующею величиной, найденной, наприимѣръ, на діаграммѣ *Веске*.

Такимъ же способомъ можно изслѣдовать и другія комбинаціи двойниковыхъ законовъ, имѣющихъ аналогичныя координаты осей.

Впрочемъ, при той степени точности, каковая вообще свойственна измѣреніямъ на Федоровскомъ столикѣ, нѣкоторые законы невозможно раздѣлить другъ отъ друга, наприимѣръ законы: *la Rose Tourné* и перпендикуляръ къ (100), кривыя которыхъ почти совершенно сливаются между собою.

§ 57. Опредѣленіе новыхъ двойниковыхъ законовъ.

Двойниковая діаграмма, служащая основаніемъ при опредѣленіи плагиоклазовъ, обнимаетъ только такіе двойниковые законы, которые встрѣчаются наиболѣе часто, а потому она имѣетъ провизорный характеръ, удовлетворяя лишь главнѣйшимъ потребностямъ петрографической практики.

Какъ же поступать въ тѣхъ случаяхъ, когда проекція полюса двойниковой оси не падаетъ ни на одну изъ имѣющихся на діаграммѣ кривыхъ, или когда константы минерала даютъ разнорѣчивыя показанія?

Нужно сказать, что вслѣдствіе недостаточности тѣхъ данныхъ, которыя мы можемъ получить при изслѣдованіи пороодообразующихъ минераловъ, подобный вопросъ въ общемъ случаѣ является не разрѣшимымъ. Лишь иногда возможно опредѣлить характеръ двойниковаго образованія заинтересовавшаго насъ зерна плагіоклаза, что удастся сдѣлать только косвеннымъ путемъ. Послѣдній состоитъ въ томъ, что на основаніи какихъ нибудь признаковъ мы задаемся составомъ этого плагіоклаза и, пользуясь найденными координатами двойниковой оси, опредѣляемъ построеніемъ кристаллографическое значеніе послѣдней. Сопоставляя затѣмъ результаты построеній съ другими данными, мы проверяемъ правильность нашихъ предположеній. Способъ этотъ въ краткихъ чертахъ былъ описанъ во второй части (§ 43), а здѣсь мы дадимъ подробный примѣръ его примѣненія.

Положимъ, что, изслѣдуя двойниковое образованіе одного плагіоклаза въ шлиффѣ типичной габброидной породы, мы нашли такіа координаты двойниковой оси:

$$\angle B \begin{cases} n_g = 84^\circ \\ n_m = 71^\circ_5 \\ n_p = 20^\circ \end{cases}$$

Обращаясь къ двойниковой діаграммѣ, мы видимъ, что этимъ координатамъ отвѣчаетъ ближе всего двойникъ плагіоклаза № 5, построенный по закону *de l'Esterel*. Уголъ между оптическими осями $2V = +77^\circ$ согласуется съ этимъ опредѣленіемъ состава плагіоклаза, но координаты полюса имѣющей спайности по (001), уголъ между нормалью къ этой спайности и двойниковою осью, углы погасанія въ свѣченіяхъ, перпендикулярныхъ осямъ упругости, и общій характеръ породы указываютъ на то, что едва ли это опредѣленіе является правильнымъ.

Дѣйствительно, изслѣдуя другія зерна того же минерала въ данномъ шлиффѣ породы, мы находимъ вездѣ плагіоклазы № 52. Такимъ образомъ естественно предположить, что и первое зерно этого минерала имѣетъ тотъ же составъ, и что двойникъ его образованъ по какому то новому закону.

Чтобы опредѣлить послѣдній, проводимъ на діаграммѣ *Веске* около полюсовъ осей упругости, соответствующихъ № 52 плагіоклаза, геометрическія мѣста вышеприведенныхъ координатъ. Всѣ три построенныя такимъ образомъ дуги малыхъ круговъ пересѣкаются въ одной точкѣ, близкой къ полюсу плоскости $(\bar{1}\bar{1}1)$, которую и можно при первомъ приближеніи принять за искомую двойниковую плоскость. Но мы знаемъ, что, если дѣлать такое построеніе на сферѣ, то должно получиться восемь точекъ пересѣченія указанныхъ окружностей. Такимъ образомъ необходимо проверить, дѣйствительно-ли $(\bar{1}\bar{1}1)$ является двойниковою плоскостью. Для этого можно воспользоваться угломъ между полюсомъ спайности (001) и двойниковою осью изслѣдуемаго зерна; этотъ уголъ

по измѣреніямъ на сѣткѣ $= 82^\circ$. Измѣряя тотъ же уголъ на діаграммѣ *Веске*, мы получимъ 121° или 59° . Отсюда можно заключить, что $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ не можетъ быть двойниковою плоскостью нашего двойника. Чтобы найти другую точку пересѣченія дугъ малаго круга, беремъ противоположный полюсъ какой-нибудь оси упругости, на примѣръ, n_r .

Этотъ полюсъ будетъ находится, очевидно, за предѣлами окружности сѣтки и займетъ положеніе точки 52¹. Дѣлая соотвѣтствующее построеніе, мы находимъ еще одну точку пересѣченія дугъ малаго круга; эта точка совпадаетъ съ перпендикуляромъ къ $(\bar{2}01)$ и, такъ какъ уголъ между нею и перпендикуляромъ къ (001) равняется $81,5^\circ$, то плоскость (201) является дѣйствительною двойниковою плоскостью изслѣдуемаго зерна плагіоклаза. Находить остальные шесть точекъ пересѣченія дугъ малаго круга уже нѣтъ надобности, такъ какъ иного отвѣта на поставленный вопросъ не можетъ быть. Нужно сказать, что иногда нѣкоторыя точки и невозможно получить построеніемъ, на примѣръ, когда одинъ изъ полюсовъ осей упругости лежитъ недалеко отъ точки зрѣнія проекціи.

Итакъ, теперь всѣ данныя относительно разсматриваемаго плагіоклаза совпадаютъ, и послѣдній, дѣйствительно, относится къ № 52.

Очевидно, такимъ же точно образомъ можно опредѣлить значеніе другихъ кристаллографическихъ элементовъ, отличныхъ отъ (010) и (001) .

Приведенный примѣръ показываетъ, что Федоровскій столикъ даетъ возможность использовать полностью всѣ немногочисленные данныя, которые предоставляютъ намъ порообразующіе минералы, и такимъ образомъ достигнуть весьма значительныхъ результатовъ при изслѣдованіи послѣднихъ. Эти результаты не только имѣютъ одно практическое значеніе въ смыслѣ ближайшаго опредѣленія состава горныхъ породъ, но порбю являются очень интересными и съ теоретической точки зрѣнія, на примѣръ, по вопросу о характерѣ двойниковыхъ образованій.

Поэтому универсальный столикъ вполне примѣнимъ и для чисто минералогическихъ изслѣдованій, по крайней мѣрѣ относящихся къ такому матеріалу, который раньше былъ предметомъ только болѣе узкаго петрографическаго изученія. Когда онъ войдетъ въ обиходъ минералогическихъ лабораторій, какое богатство проявленій минераловъ и ихъ комбинацій откроется для точнаго изслѣдованія!

Г л а в а III.

Калиевонатровые полевые шпаты.

§ 58. Изоморфизмъ калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ.

Выше мы разобрали самую значительную группу полевыхъ шпатовъ — плагиоклазы, образующіе ясно выраженный изоморфный рядъ, отдѣльные члены котораго характеризуются постепеннымъ и быстрымъ измѣненіемъ различныхъ физическихъ свойствъ. Благодаря послѣднему обстоятельству, эти минералы хорошо изучены, такъ что истинная природа ихъ намъ болѣе или менѣе извѣстна; но нельзя сказать этого про другую группу полевыхъ шпатовъ, отличающихся отъ плагиоклазовъ тѣмъ, что они представляютъ алюмосиликаты K_2O и Na_2O .

Судя по общему *habitus*'у минераловъ обѣихъ группъ, ихъ нужно признать симморфными, такъ что калиевонатровые полевые шпаты должны бы также дать болѣе или менѣе изоморфный рядъ.

Но извѣстные члены этого предполагаемаго ряда отличаются другъ отъ друга такимъ несущественнымъ образомъ и часто обладаютъ столь тонкопластинчатой структурой, что до настоящаго времени не только не установлена удовлетворительно связь между ними, но неизвѣстна еще истинная природа нѣкоторыхъ видовъ этихъ минераловъ.

Послѣдніе обыкновенно раздѣляются слѣдующимъ образомъ:

1) *Ортоклазы*, представляющіе калиевый полевой шпатъ съ примѣсью иногда довольно значительнаго количества Na_2O , относятся къ моноклинной сингоніи. Въ виду того, что альбитовый и периклиновый двойниковые законы, по которымъ въ полевыхъ шпатахъ образуются тонкопластинчатые полисинтетическіе двойники, въ ортоклазахъ совершенно исчезаютъ, то послѣдніе имѣютъ всегда однородную структуру.

Для характеристики этихъ минераловъ нужно отмѣтить, что у нихъ плоскость оптическихъ осей n_g n_p перпендикулярна къ плоскости симметріи кристалла, причемъ уголъ $n_p . a = 3^\circ - 10^\circ$, и что уголъ между оптическими осями для разностей, наиболѣе богатыхъ K_2O , равенъ приблизительно — 70° .

2) *Анортоклазы* представляютъ изоморфную смѣсь $K_2 Al_2 Si_6 O_{16}$ и $Na_2 Al_2 Si_6 O_{16}$ съ преобладаніемъ послѣдняго и относятся уже къ триклинной сингоніи, но формы ихъ болѣею частью настолько близки соотвѣтствующимъ формамъ ортоклазовъ, что не рѣдко установить разницу между этими минералами можно только при помощи особенно точныхъ методовъ. Вообще, наибольшая разница въ углахъ между соотвѣтствующими гранями обоихъ минеральныхъ видовъ не превышаетъ 2° .

И оптическія свойства анортоклазовъ довольно близки аналогичнымъ свойствамъ ортоклазовъ. Напримѣръ, оси упругости расположены у нихъ почти одинаково, такъ что уголъ погасанія на плоскости (001)

рѣдко достигаетъ величины 4° , а уголъ погасанія на плоскости (010), являющійся почти мѣриломъ угла между осями a и n , равняется большею частью 9° ¹⁾.

Что касается угла между оптическими осями, то онъ подвергается довольно сильнымъ колебаніямъ, повидимому, въ зависимости отъ относительнаго количества Na_2O и K_2O , измѣняясь отъ 32° до 54° . Впрочемъ, эти минералы изслѣдованы еще недостаточно полно, такъ что вышеприведенныя величины нужно считать только приблизительными. Если принять еще во вниманіе показатели преломленія и величины дву-преломленія, то мы увидимъ, что ортоклазы и анортклазы довольно трудно отличимы другъ отъ друга по большинству своихъ физическихъ свойствъ.

Но есть одинъ морфологическій признакъ, который позволяетъ довольно легко различить эти минералы. Дѣло въ томъ, что анортклазъ принадлежитъ къ триклинной сингоніи и—слѣдовательно—у него возможны двойниковыя образованія по альбитовому и периклиновому законамъ, имѣющія всегда видъ тонкопластинчатыхъ кристалловъ, причемъ индивиды двойниковъ по своей оптической ориентировкѣ почти сливаются между собою, благодаря близости кристаллическихъ формъ минерала къ моноклинной сингоніи. Иногда анортклазы даже при + николяхъ кажутся однородными, но при поворачиваніи препарата около осей Федоровскаго столика почти всегда можно найти сѣченіе, въ которомъ двойниковая штриховка все же проявляется. Въ сѣченіи, близкомъ (010)—плоскости срастанія полисинтетическихъ двойниковъ по альбитовому закону, замѣчается часто пятнистое погасаніе, обусловленное неправильнымъ налеганіемъ двойниковыхъ пластиночекъ, толщина которыхъ меньше толщины шлифа²⁾.

То же самое наблюдается въ сѣченіяхъ, близкихъ плоскости (001), когда полисинтетическіе двойники образованы по периклиновому закону. Иногда въ одномъ зернѣ проявляются двойниковыя образованія по обоимъ законамъ, и тогда въ сѣченіи, перпендикулярномъ первой оси, можно наблюдать двойниковую рѣшетку.

3) Среди довольно многочисленныхъ анализовъ полевыхъ шпатозъ, принадлежащихъ къ моноклиннымъ минераламъ, есть такіе, въ которыхъ количество Na_2O во много разъ превышаетъ содержаніе K_2O ³⁾.

Такъ какъ микроскопическія изслѣдованія показываютъ, что такое преобладаніе Na_2O обусловлено не механическими примѣсями, то, очевидно, молекулы натроваго полевого шпата должны давать моноклинную сѣтку, т. е. должна существовать моноклинная модификація этого

¹⁾ *H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie* I 2, 1905; 327.

²⁾ *M. Fouqué Contribution à l'étude des feldspaths des roches volcaniques. Bull. soc. min. fr.* 1894, p. 397—419.

³⁾ *M. M. Barbier et Prost. Sur l'existence d'un feldspath sodique monoclinique isomorphe de l'orthose. Bull. de la Société chimique de France. 4 série, III, 1908; p. 894.*

вещества. Въ изслѣдованномъ *M. Barbier* полево́мъ шпатѣ отноше́нiе $K_2O : Na_2O = 1 : 10$; такой минераль можно считать почти чистымъ натровымъ полевымъ шпатомъ. Такимъ образомъ моноклинная модифика́ція послѣдняго, повидимому, уже доказана, чѣмъ подтверждаются предсказанiя *Des Cloiseaux*¹⁾.

Если это—такъ, то натровый полевой шпатъ имѣетъ три модифика́ции: альбитъ, анортотлазъ и моноклинный минераль, у котораго еще нѣтъ спеціального названiя.

Такъ какъ этотъ минераль образуетъ изморфную съ ортоклазомъ группу, то очень удобно назвать его *натронортотлазомъ*, а весь рядъ—натронортотлазовымъ.

4) Подобно натровому полево́му шпату и калиевый полевой шпатъ является полиморфнымъ: извѣстна триклинная разновидность этого вещества, называемая *микроклиномъ*. По кристаллическимъ своимъ формамъ послѣднiй очень близокъ ортоклазу, и принадлежность его къ триклинной сингонiи доказывается главнымъ образомъ тѣмъ, что оси упругости этого минерала занимаютъ рѣзко несимметричное положенiе въ кристаллѣ; такъ, уголь погасанiя на плоскости (001) равняется приблизительно $+15^\circ$. Затѣмъ, другимъ свойствомъ, отличающимъ микроклинъ отъ прочихъ калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ, является величина угла между оптическими осями, равная въ среднемъ— 83° .

Наконецъ, нужно отмѣтить одинъ морфологическiй признакъ, являющiйся весьма характернымъ для микроклина. Выражается онъ въ томъ, что, благодаря способности минерала образовывать весьма тонкопластинчатые полисинтетическiе двойники сразу по двумъ почти перпендикулярнымъ другъ другу плоскостямъ, въ сѣченiяхъ, нормальныхъ зонѣ послѣднихъ, видна при $\times$ николяхъ оригинальная рѣшетка. Эти двойниковыя образованiя относятся къ альбитовому и периклиновому законамъ. Впрочемъ, послѣднiй законъ имѣетъ у микроклина ту особенность, что слѣдъ плоскости сростанiя индивидовъ двойника на плоскости (010) образуетъ уголь въ 99° съ слѣдомъ спайности (001), почему самый законъ нѣкоторые называютъ микроклиновымъ²⁾.

Рѣшетка микроклина видна только въ сѣченiяхъ, болѣе или менѣе близкихъ къ (001), въ остальныхъ сѣченiяхъ погасанiе является пятнистополосчатымъ, благодаря неправильному наложенiю другъ на друга двойниковыхъ пластиночекъ.

Нужно сказать, что вовсе не обязательно, чтобы въ каждомъ индивидѣ микроклина присутствовали обѣ системы двойниковыхъ образованiй; двойники по слабѣе развитому периклиновому закону могутъ и отсутствовать, и тогда минераль становится похожимъ на нѣкоторые тонко-

¹⁾ *A. Des Cloiseaux*. Mémoire sur l'existence, les propriétés optiques et crystallographiques et la composition chimique du microcline etc. Annales de Chimie et de Physique. 5 série, XI, 1876; 25.

²⁾ *A. Lacroix*. Minéralogie de la France et de ses colonies. II, 1897. p. 28.

штриховатые олигоклазы, или же двойниковая микроструктура совсѣмъ не проявляется.

Несмотря на то, что существуетъ цѣлый рядъ признаковъ, отличающихъ микроклинъ отъ ортоклаза, многіе считаютъ ¹⁾ эти минералы идентичными, полагая, что ортоклазъ представляетъ субмикроскопически двойниковый микроклинъ. Противъ такого предположенія говорить уже одно то обстоятельство, что какъ въ отдѣльныхъ балочкахъ рѣшетки микроклина, такъ и въ видимо однородной массѣ кристалла послѣдняго уголъ погасанія и уголъ между оптическими осями остаются одинаковыми ²⁾.

И ничего нѣтъ невозможнаго въ томъ, что калиевый полевой шпатъ, подобно большинству минераловъ, обладаетъ диморфизмомъ. Если, какъ замѣчено нѣкоторыми ³⁾, ортоклазъ подѣ влияніемъ давленія горообразовательныхъ процессовъ переходитъ въ явный микроклинъ, то это только подтверждаетъ то положеніе, что характеръ проявленія диморфнаго вещества зависитъ отъ физическихъ условій.

Интересно, что недавно *P. Barbier* ³⁾ при помощи спектральнаго анализа доказалъ различный составъ разбираемыхъ нами полевыхъ шпатовъ: именно, въ ортоклазѣ всегда имѣется извѣстное количество литія или рубидія, тогда какъ въ микроклинѣ послѣдніе совсѣмъ не наблюдаются. Какъ ни ничтожно въ общемъ содержаніе этихъ рѣдкихъ элементовъ, все же они могутъ—по словамъ автора—дать толчокъ къ образованію соотвѣтствующей диморфной разности минерала, подобно нѣкоторымъ катализаторамъ. Конечно, влияние этихъ элементовъ отнюдь не отрицаетъ значенія давленія или другихъ физическихъ условій: они могутъ дѣйствовать то въ одномъ, то въ разныхъ направленіяхъ.

Вообще, самостоятельность микроклина, какъ минеральнаго вида, едва-ли можетъ подвергнуться особому сомнѣнію.

5) Кромѣ микроклина, имѣющаго составъ болѣе или менѣе чистаго калиевонатроваго полевого шпата, существуетъ еще нѣсколько типовъ полевыхъ шпатовъ, напоминающихъ по своимъ свойствамъ то аноклазы, то микроклинъ. Правда, типы эти изучены еще очень недостаточно вслѣдствіе той трудности, которая связана съ этимъ изученіемъ, благодаря тонкопластинчатой структурѣ минераловъ.

Такъ, *M. Fouqué* ⁴⁾ описалъ два такихъ полевыхъ шпата, обнаруживающихъ мѣстами рѣшетку, характерную для микроклина, но имѣющихъ углы между оптическими осями $2V = -56^\circ$ и -62° , близкіе къ соотвѣтствующимъ угламъ аноклазовъ. Къ сожалѣнію, нельзя было измѣрить углы погасанія на плоскости (001), чтобы ближе опредѣлить

¹⁾ *C. Hintze*. Handbuch der Mineralogie II, 1897 s. 1334.

²⁾ *H. Rosenbusch*. Mikroskopische Physiographie, I₂ 1905; s. 320 u. 323.

³⁾ *M. Barbier*. Recherches sur la composition chimique des feldspaths potassiques. Bull. soc. m'n. fr. 31. 1908; p. 152—167.

⁴⁾ *M. Fouqué*. Contribution à l'étude des feldspaths etc. p. 420.

отношеніе этихъ минераловъ къ микроклину. Но и приведенныхъ данныхъ было достаточно, чтобы признать эти минералы за представителей изоморфнаго ряда *микроклин—анортоклазъ*.

Собственно, а priori можно было думать, что такой рядъ долженъ быть среди триклинныхъ калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ, потому что въ моноклинной сингоніи, какъ мы видѣли, минералы аналогичнаго состава являются изоморфными.

Но если это такъ, то, значитъ, калиевонатровые полевые шпаты представляютъ изодиморфныя соединенія.

Это заключеніе является чрезвычайно важнымъ, такъ какъ принятый нами взглядъ на рассматриваемые полевые шпаты представляетъ критерій, который поможетъ разобраться среди разрозненныхъ данныхъ относительно этихъ минераловъ и дастъ возможность сдѣлать опредѣленіе послѣднихъ болѣе или менѣе послѣдовательнымъ.

Въ самомъ дѣлѣ, физическія свойства изодиморфныхъ соединеній подчиняются при своихъ измѣненіяхъ извѣстной закономерности¹⁾. Если, какъ показано на фигурѣ 46-й, отложить на оси абсциссъ отношенія молекулъ щелочей, входящихъ въ составъ полевыхъ шпатовъ нашихъ изодиморфныхъ рядовъ, а на оси ординатъ—величины, характеризующія соответствующія свойства, то полученная діаграмма будетъ состоять изъ двухъ линій, параллельныхъ другъ другу.

Пусть наши ряды совсѣмъ плохо изучены, все-таки и приблизительно построенная діаграмма можетъ дать указанія на характеръ необходимыхъ работъ и будетъ, такъ сказать, руководить послѣдними.

Само собою разумѣется, что такой діаграммой можно пользоваться и при опредѣленіи данныхъ минераловъ. Правда, почти каждой ординатѣ отвѣчаютъ двѣ абсциссы, относящіяся къ разнымъ линіямъ діаграммы, но болѣею частью ряды отличаются довольно рѣзко нѣкоторыми простыми признаками, такъ что двусмысленныя рѣшенія будутъ встрѣчаться очень рѣдко.

При построении описанной діаграммы необходимо обратить вниманіе на то обстоятельство, что кривыя послѣдней будутъ получаться параллельными только для такихъ константъ, которыя характеризуютъ простые свойства чисто аддитивнаго характера. Сюда нужно отнести показатель преломленія, удѣльный вѣсъ, уголъ между оптическими осями и отношеніе между кристаллографическими осями и осями упругости минерала. Что касается угловъ погасанія, то здѣсь въ виду нѣкоторой условности самихъ константъ діаграмма можетъ имѣть и неправильный видъ.

6) Намѣченная выше классификація калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ грубо нарушается существованіемъ модификацій этихъ минераловъ, называемыхъ *санидинами*. Послѣднія принадлежатъ моноклин-

¹⁾ R. Brauns. Chemische Mineralogie. 1897 s. 205.

ной сингоніи и по своему химическому составу совершенно одинаковы съ представителями натронортотлазового ряда. Не смотря на это, они отличаются довольно рѣзко нѣкоторыми оптическими свойствами. Такъ, уголъ между оптическими осями у нихъ обыкновенно малъ и спускается даже до нуля; вмѣстѣ съ тѣмъ самыя оси иногда располагаются въ плоскости симметріи кристалла.

Наблюденія показываютъ, что эти странные минералы свойственны исключительно новѣйшимъ породамъ, гдѣ они вполнѣ замѣняютъ ортоклазы болѣе древнихъ горныхъ породъ.

При сопоставленіи свойствъ ортоклазовъ и санидиновъ кажется непонятнымъ, почему это два минерала, имѣющіе одинаковые химическій составъ и кристаллическія формы, такъ рѣзко различаются другъ отъ друга по нѣкоторымъ оптическимъ свойствамъ. Еще болѣе страннымъ кажется, что санидины встрѣчены были только въ новѣйшихъ изверженныхъ породахъ—и гдѣ, собственно, находится граница между послѣдними и болѣе древними породами, въ которыхъ встрѣчается только ортоклазъ.

Разрѣшеніе этихъ вопросовъ требуетъ прежде всего детальнаго изученія калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ среди породъ разнаго возраста, чего до сихъ поръ почти никто не предпринималъ. Возможно, что и среди древнихъ породъ при такомъ изученіи будутъ обнаружены полевые шпаты, аналогичные новѣйшимъ санидинамъ.

Нѣкоторый свѣтъ на отношеніе послѣднихъ къ ортоклазамъ проливаютъ опыты надъ нагрѣваніемъ этихъ минераловъ. Оказывается, что уголъ между оптическими осями ортоклазовъ уменьшается при повышеніи температуры, причемъ плоскость этихъ осей можетъ занять положеніе, совпадающее съ плоскостью симметріи кристалла, такъ что въ конечномъ итогѣ получается минералъ, пріобрѣтающій свойства санидиновъ. Съ другой стороны, при нагрѣваніи послѣднихъ свойства мѣняются въ обратномъ отношеніи.

Такимъ образомъ получается впечатлѣніе, что санидинъ представляетъ лишь патологическій случай ортоклаза, обусловленный нахожденіемъ послѣдняго въ особыхъ обстоятельствахъ.

Съ этимъ согласуется и тотъ фактъ, что почти всѣ хорошо изученные образцы санидиновъ являются вулканическими выбросами или включениями, подвергавшимися дѣйствию сильнаго жара и быстрого затѣмъ охлажденія.

Если это—такъ, то санидины можно встрѣтить только въ самыхъ поверхностныхъ вулканическихъ образованіяхъ, которыя среди древнихъ отложеній почти нигдѣ не сохранились. Возможно—затѣмъ,—что санидины древнихъ породъ, благодаря діагенетическимъ процессамъ, успѣли перейти въ первоначальное состояніе ортоклаза. Всѣ эти предположенія требуютъ значительной опытной провѣрки, которая съ распространеніемъ универсально-оптического метода изслѣдованія, вѣроятно, не заставитъ себя долго ждать.

Основные константы и способы опредѣленія калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ.

§ 59. Общее.

При разсмотрѣннн калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ и выведеннн способовъ опредѣленн послѣднихъ мы будемъ основываться на такихъ данныхъ, которыя происходятъ изъ вполне надежныхъ источниковъ и представляютъ среднее ариѳметическое нѣсколькихъ изслѣдованнй. По нѣкоторымъ разновидностямъ этихъ полевыхъ шпатовъ, особенно по ортоклазу, имѣется какъ-будто довольно обширная литература, но въ однихъ случаяхъ подробно разбираются только кристаллическія формы или оптическія свойства, и не дается химическій составъ изслѣдованныхъ минераловъ; въ другихъ же случаяхъ приводится масса анализовъ и очень мало говорится о физическихъ свойствахъ.

Насколько намъ удалось познакомиться съ литературой по вопросу о калиевонатровыхъ полевыхъ шпатахъ, все болѣе или менѣе подробныя, полныя и точныя данныя относительно послѣднихъ могутъ умѣститься въ слѣдующей таблицѣ (см. стр. 125).

По сравненн съ изоморфнымъ рядомъ плагіоклазовъ калиевонатровые полевые шпаты извѣстны въ сравнительно немногочисленныхъ представителяхъ. Но если принять во вниманн, что несмотря на ничтожное количество имѣющихся данныхъ эти представители разбросаны по всему протяженн намѣчаемыхъ нами рядовъ, и что оптическія свойства ихъ въ общемъ измѣняются пропорціонально измѣненн химического состава, то нужно признать существованн этихъ рядовъ.

Вѣдь если обратиться къ исторіи изученн плагіоклазовъ, относительно которыхъ въ матеріалѣ недостатка никогда не было и которые хорошо характеризуются своими константами, измѣняющимися на очень значительную величину въ различныхъ представителяхъ ряда, то и среди этихъ минераловъ долгое время были извѣстны сравнительно немногіе виды, и лишь съ введенн универсально-оптического метода изслѣдованн намѣтились почти все опредѣлимые практически представители изоморфнаго ряда.

То же самое должно быть и съ калиевонатровыми полевыми шпатами, ближайшее изученн которыхъ, какъ увидимъ ниже, представляетъ и для универсальнаго метода немаловажныя затрудненн.

§ 60. *Морфологическія свойства* калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ во многихъ случаяхъ являются настолько характерными, что могутъ оказать существенную помощь при опредѣленн этихъ минераловъ. Выше мы говорили, что вслѣдствн небольшой разницы въ константахъ

№№ по по- рядку.	Мѣсторожденіе.	Источникъ.	% по вѣсу		% молекулъ Na ₂ O/K ₂ O.	2V.	Углы погло- щенія на ⊥ _{n_p} ⊥ _{n_g} .		Показатели пре- ломленій.			Примѣчанія.
			K ₂ O.	Na ₂ O.			∠ _{n_m} (001).	∠ _{n_p} (001).	n _g	n _m	n _p	
Моноклинный рядъ.												
1	Цейлонъ. . . .	Des Cloiseaux (Man- uel de Minéralogie I. p. 338)	14.15	0	0	69°45'	0°	6°				Анализъ взятъ у Des Cloiseaux (ibidem, p. 337).
2	С Готардъ. . .	Kohlrausch (Z. f Kr. II, 102)	14.17	1.44	13	—66°5'	0°	—	1.5246	1.5230	1.5192	
3	Бразилія . . .	C. Hintze (Handbuch d. Miner. s. 1400) .	12.89	3.08	26	—54°	0°					
4	Арканзасъ. . .	» s. 1401. .	9.09	6.03	50	—43°	0°					
5	О. Пантеллярія	Förstner (Z. f Kr. VIII, 193).	5.40	7.57	68	—44°30'	0°	+9°	—			
6	„	„	5.45	7.63	67	—41°	0°	+9°	—	1,5656		
Триклинный рядъ.												
7	Ураль.	M. Lévy (Etude sur la détermin. des feldspaths 2; 102 .	—	—	—	—84°	3°	7°	—	—	—	Вездѣ характерная рѣшетка. Анализы взяты у Des Cloiseaux (Annales chim. et phys. 1876; p. 463).
8	Ильменское озе- ро	C Riva. (H. Rosen- busch, I ₂ ; 316) . .	13.50	1.56	15	—78°37'	—	—	1.5248	1.5223	1.5186	
9	Мурзинка . . .	„	13.90	1.66	15	—77°7'	—	—	1.5263	1.5238	1.5199	
10	Килиманджаро.	C. Hintze (Handbuch d. Min. II, 1424) .	5.34	4.09	52	—60°45'	2°					Изъ анализа вычтено (CaO+Na ₂ O). Видна рѣшетка. Иногда видна рѣшет- ка въ сѣченіи ⊥ [100]. Иногда видна рѣшет- ка въ сѣченіи ⊥ [100].
11	О. Пантеллярія.	Förstner (Средн е изъ 7 изслѣдован.	4.25	7.34	72	—50°	—	9°		1.5262		
12	Центральная Франція. . .	Fouqué (среднее изъ 7 изслѣдован.)	2.80	9.10	83	—45°	2°	10°	1.5289	1.5281	1.5225	

представителей моноклиннаго и триклиннаго рядовъ данныхъ полевыхъ шпатовъ, раздѣленіе ихъ часто встрѣчаетъ большія затрудненія.

Вотъ въ этомъ случаѣ изслѣдованіе морфологическихъ признаковъ является почти рѣшающимъ вопросомъ моментомъ. Дѣйствительно, моноклинные натронортоклазы всегда обнаруживаютъ однородную структуру, тогда какъ въ представителяхъ ряда микроклин-анортозовъ обыкновенно встрѣчается полисинтетически-двойниковое сложеніе, причемъ у микроклина послѣднее развивается почти всегда по двумъ направленіямъ, благодаря чему образуется оригинальная рѣшетка. Какъ показываютъ нѣкоторые наблюденія, послѣдняя встрѣчается и у другихъ представителей этого ряда, болѣе богатыхъ Na_2O , имѣя, однако, отличительныя особенности. Такъ, у микроклина эта рѣшетка видна въ сѣченіяхъ, болѣе или менѣе близкихъ (001), тогда какъ у анортоклазовъ её можно замѣтить лишь въ сѣченіяхъ, нормальныхъ первой оси [100]. Это обусловливается тѣмъ обстоятельствомъ, что у перваго минеральнаго вида плоскость срастанія полисинтетическихъ двойниковъ по периклиновому закону образуетъ съ основнымъ пинакоидомъ уголъ въ 99° , тогда какъ у анортоклазовъ она болѣе или менѣе близка послѣднему. Въ виду близости формъ триклинныхъ калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ къ моноклинной сингоніи, оба закона, по которымъ развиваются полисинтетическіе двойники, сливаются оптически между собою. Поэтому очень возможно, что двойниковая рѣшетка этихъ минераловъ является слѣдствіемъ срастанія полисинтетическихъ двойниковъ по одному альбитовому закону, такъ какъ среди плагіоклазовъ, индивидуы двойниковъ которыхъ достигаютъ болѣе значительной величины, такія образованія наблюдаются иногда довольно отчетливо.

Въ сѣченіяхъ, отличающихся отъ вышеуказанныхъ, микроструктура микроклин-анортозовъ представляется въ видѣ волокнистой пятнистости. Иногда, впрочемъ, двойниковыя образованія этихъ минераловъ развиваются только по одному направленію, и тогда послѣдніе становятся похожими на тонкопластинчатые плагіоклазы.

Наконецъ, нужно отмѣтить, что описанная микроструктура можетъ проявляться только отдѣльными участками въ данномъ зернѣ полевого шпата.

§ 61. Углы погасанія.

Наблюденія морфологическихъ свойствъ часто позволяетъ раздѣлить моноклинные полевые шпаты отъ триклинныхъ, но иногда этого бываетъ недостаточно, въ виду того, что двойниковая штриховка нѣкоторыхъ представителей триклиннаго ряда доходитъ до субмикроскопической величины или при какихъ нибудь условіяхъ совсѣмъ не проявляется.

Въ этомъ случаѣ вопросъ можетъ быть рѣшенъ болѣею частью только въ присутствіи какого-нибудь кристаллографическаго элемента, на-

примѣръ, плоскости спайности, которою мы можемъ воспользоваться для измѣренія угловъ погасанія, относимыхъ къ главнымъ сѣченіямъ минерала, какъ у плагіоклазовъ.

Основываясь на данныхъ вышеприведенной таблицы, построимъ діаграмму, указывающую измѣненія этихъ угловъ погасанія въ зависимости отъ состава полевого шпата.

Изъ этой діаграммы (фиг. 44), на которой кривыя I относятся къ моноклинному, а—II—къ триклинному рядамъ, нетрудно видѣть, что вопросъ относительно различенія сингоніи рассматриваемыхъ минераловъ разрѣшается удобнѣе всего при помощи плоскости спайности (010), но что самый способъ изслѣдованія является мало надежнымъ, такъ какъ разница въ углахъ погасанія не только для отдѣльныхъ рядовъ, но часто и для различныхъ представителей послѣднихъ не превышаетъ 2° , что какъ разъ равняется только точности установки бѣльшей части трещинокъ спайности.

Для полной характеристики данныхъ минераловъ необходимо знать еще углы погасанія на плоскости, перпендикулярной оси n_m . У моноклиновыхъ полевыхъ шпатовъ этотъ уголъ равняется, очевидно, 0° , такъ какъ плоскость $n_m n_p$ лежитъ въ плоскости симметріи кристалла, но у триклинныхъ полевыхъ шпатовъ онъ является переменнымъ. Между тѣмъ соответствующихъ данныхъ у насъ не имѣется; нѣтъ также діаграммъ, показывающихъ отношеніе оптическихъ и кристаллографическихъ элементовъ этихъ минераловъ, почему мы не можемъ найти вышеупомянутые углы и при помощи построеній, какъ это дѣлали въ случаѣ плагіоклазовъ.

Правда, M. Lévy ¹⁾ далъ такую діаграмму для одного вида микроклина, но показанія ея расходятся съ данными такого ученаго, какъ M. Fouqué ²⁾ и потому она требуетъ еще повѣрки. На всякій случай, здѣсь уместно будетъ упомянуть, что согласно этой діаграммы, углы погасанія на плоскости, перпендикулярной

n_g		$\angle$	n_p	(001) = 5°
»	»	»	n_p	 $\angle$ n_m (010) = 8°
»	»	»	n_m	 $\angle$ n_p (010) = 16°

Какъ бы то ни было, углы погасанія, измѣренные на всѣхъ трехъ плоскостяхъ упругости, позволяютъ построить діаграммы разбираемыхъ нами полевыхъ шпатовъ. Это построеніе, основанное на принципѣ засѣчекъ и являющееся въ общемъ случаѣ довольно сложнымъ, требуетъ, какъ необходимаго условія, чтобы было извѣстно направленіе, или знакъ угловъ погасанія. Это условіе выполнимо лишь при возможности точной ориентировки изслѣдуемаго зерна полевого шпата, что достигается при петрографическихъ работахъ, конечно, очень рѣдко. Но если встрѣтится такой случай, то угламъ погасанія нужно придавать знаки на слѣдую-

¹⁾ M. Lévy. Etude sur la détermination des feldspaths II, 1896. T. XVII.

²⁾ Op. cit. p. 427.

щихъ общепринятыхъ основаніяхъ. Если кристаллъ установленъ такимъ образомъ, какъ это сказано въ § 50-мъ, то при разсмотрѣніи плоскостей, перпендикулярныхъ положительнымъ направленіямъ осей упругости, углы погасанія имѣютъ значенія, обозначенныя на фигурѣ 45-ой.

При различеніи характера спайности въ калиевонатровыхъ полевыхъ шпатахъ нужно руководствоваться тѣмъ обстоятельствомъ, что, если полюсъ спайности лежитъ около n_g , то послѣдняя является (010), а если этотъ полюсъ близокъ n_m , то спайность относится къ (001). Оставляя въ сторонѣ несовершенныя спайности по (110) и (111), отличить которыя по только что приведенному правилу очень легко, мы должны обратить вниманіе на часто встрѣчающуюся—особенно у моноклинныхъ полевыхъ шпатовъ—частую и тонкую отдѣльность по ($\bar{8}01$), полюсъ которой лежитъ недалеко отъ n_p .

Наконецъ, нужно еще замѣтить, что въ случаѣ санидиновъ, у которыхъ плоскость оптическихъ осей совпадаетъ бѣльшею частью съ (010), оси упругости n_g и n_m мѣняются своими мѣстами. Однако, и въ этомъ случаѣ характеръ спайности опредѣлить очень легко.

Дѣйствительно, въ моноклинныхъ полевыхъ шпатахъ двѣ оси упругости, лежація въ плоскости симметріи кристалла (010), характеризуются тѣмъ обстоятельствомъ, что углы погасанія на плоскостяхъ, перпендикулярныхъ этимъ осямъ, равняются 0° .

Такимъ образомъ мы всегда можемъ отмѣтить ось упругости, перпендикулярную второму пинакоиду (010). Если это—ось n_g , то передъ нами находится полевой шпатъ съ нормальнымъ расположеніемъ плоскости оптическихъ осей; если же плоскость, въ которой замѣчается косое погасаніе, перпендикулярна оси n_m , то изслѣдуемый минераль имѣетъ характеръ, свойственный санидину.

Чтобы облегчить построеніе діаграммы полевого шпата, кромѣ опредѣленія угловъ погасанія необходимо еще брать координаты полюса спайности, которыя, подобно координатамъ полюса двойниковой оси, могутъ иногда характеризовать изслѣдуемый минераль.

§ 62. Двойниковыя образованія.

Изъ разсмотрѣнія угловъ погасанія можно замѣтить, что оси упругости расположены приблизительно одинаково во многихъ представителяхъ калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ. Поэтому принципъ, лежащій въ основѣ опредѣленія плагіоклазовъ помощью координатъ двойниковой оси, здѣсь не приложимъ—тѣмъ болѣе, что двойники, по крайней мѣрѣ, доступные практическому опредѣленію, встрѣчаются у этихъ полевыхъ шпатовъ не особенно часто.

Но изученіемъ этихъ двойниковыхъ образованій можно все-таки воспользоваться для рѣшенія нѣкоторыхъ довольно важныхъ вопросовъ.

Такъ, прежде всего, этотъ способъ даетъ возможность находить бо-

нѣе или менѣе точно положеніе нѣкоторыхъ кристаллографическихъ элементовъ минерала и такимъ образомъ опредѣлять отношеніе ихъ къ осямъ упругости послѣдняго.

Затѣмъ, зная составъ полевого шпата, мы можемъ опредѣлить характеръ двойниковаго образованія, что, правда, имѣетъ больше теоретическій интересъ. Въ послѣднемъ случаѣ необходимо имѣть діаграмму соответствующаго минерала, что пока возможно въ случаѣ моноклинныхъ полевыхъ шпатовъ (такова, на примѣръ, діаграмма фиг. 37).

Чтобы не дѣлать каждый разъ построеній при вышеуказанныхъ опредѣленіяхъ, ниже приводится таблица координатъ двойниковой оси для возможныхъ и извѣстныхъ законовъ одного вида ортоклаза, имѣющаго $n_p [100] = 6^\circ$.

Всѣ необходимыя данныя получены простымъ измѣреніемъ на діаграммѣ фигуры 37-ой.

№№ по порядку.	Названіе закона.	Двойниковая ось.	Ортоклазь < $n_p [100] = 6^\circ$.			Микроклинъ по М. Lèvy.		
			Координаты дв. оси.			Координаты дв. оси.		
			n_g .	n_m .	n_p .	n_g .	n_m .	n_p .
1	Альбитовый . .	$\perp (010$	н ѣ т ъ			-18°	82.°5	+74°
2	Манебахскій . .	$\perp (001)$	90°	6°	+84°	+81°	11.°5	+84°
3		$\perp (100)$	90°	71°	+19°	+72°	72.°5	+25°
6	De l'Esterel . .	$\perp [100]$	90°	84°	-6°	-75.°5	81.°5	-16.°5
5	Карлсбадскій . .	$\perp [001]$	90°	19°	-71°	+87.°5	18.°5	-70.°5
6	Периклиновъ . .	$\perp [010]$	н ѣ т ъ			= альбитовому		
7		$\perp [100] \parallel (010)$	= Манебахскому			= № 3		
8	La Roc Tourné	$\perp [001] \parallel (010)$	= De l'Esterel.					
9	Scopi	$\perp [010] \parallel (001)$	н ѣ т ъ			= альбитовому		
10		$\perp [100] \parallel (001)$	н ѣ т ъ			= альбитовому		
11		$\perp [001] \parallel (100)$	н ѣ т ъ			= альбитовому		
12		$\perp [010] \parallel (100)$	= Карлсбадскому					
13		$\perp (201)$	90°	74.°5	-15.°5	-76.°5	73°	-22°
14		$\perp [100] [001]$	90°	38.°5	+51.°5	+73°	41.°5	+53°
15	Биссектриса . .	$\perp [001] [010]$	+45°	48°	-76.°5	+45°	55°	-65°
16		$\perp [010] [100]$	+45°	85°	+45.°5	+31°	80°	+61°
17	Бавенскій . . .	$\perp (0\bar{2}1)$	45°	45.°5	86°	-56.°5	38.°5	+75°
18	"	$\perp (021)$				+38°	53°	-82.°5
19		$\perp (1\bar{1}0)$	59.°5	74°	+36°	-77°	71°	+24°

Координаты двойниковой оси для другихъ членовъ натронортоклазоваго ряда будутъ болѣе или менѣе сильно отличаться отъ приведенныхъ только въ тѣхъ случаяхъ, когда эта ось лежитъ недалеко отъ плоскости (010), въ которой находятся перемѣщающіяся при измѣненіи химическаго состава полевого шпата оси n_m и n_p .

Равнымъ образомъ приведенныя координаты довольно характерны и для триклинныхъ полевыхъ шпатовъ, богатыхъ Na_2O —съ тѣмъ только

существеннымъ отличіемъ, что у послѣднихъ не можетъ быть вообще координатъ, равныхъ 90° .

Если отложить данныя координаты на двойниковой діаграммѣ плагіоклазовъ, то мы вездѣ получимъ на соотвѣтствующихъ кривыхъ точки, лежація около № 20, что и нужно было ожидать въ виду близости формъ и почти одинаковаго расположенія осей упругости въ тѣхъ и другихъ полевошпатовыхъ видахъ.

Но въ первой половинѣ триклиннаго ряда, богатой K_2O , оси упругости, если судить по вышеуказанной діаграммѣ *M. Lévy*, занимаютъ болѣе оригинальное положеніе. Такъ, если отложить извѣстнымъ намъ образомъ приведенныя выше координаты двойниковыхъ осей микроклина, представленнаго этой діаграммой, то мы получимъ точки, далеко отстоящія отъ соотвѣтствующихъ кривыхъ плагіоклазовъ.

§ 63. Уголъ между оптическими осями.

Итакъ, ни одинъ изъ вышеописанныхъ способовъ опредѣленія рассматриваемыхъ полевыхъ шпатовъ не отличается сколько-нибудь замѣтною чувствительностью: при помощи ихъ болѣею частью мы можемъ только отличить эти минералы по ихъ принадлежности къ тому или другому ряду, но не имѣемъ возможности опредѣлить, какое мѣсто они занимаютъ въ послѣднихъ.

Несравненно лучше въ этомъ отношеніи результаты даетъ нахожденіе угла между оптическими осями. Дѣйствительно, пользуясь таблицей, приведенной въ § 59-омъ, мы можемъ выразить зависимость между этимъ угломъ и химическимъ составомъ соотвѣтствующаго полевого шпата въ видѣ діаграммы, изображенной на фигурѣ 46-ой.

Изъ нея видно, что по угламъ между оптическими осями можно съ достаточною степенью точности судить о химической природѣ подлежащихъ минераловъ. Конечно, мы не можемъ опредѣлять послѣдніе съ точностью до одного или двухъ номеровъ, какъ это имѣетъ мѣсто при изслѣдованіи двойниковыхъ образованій плагіоклазовъ. Главныя ошибки при этомъ опредѣленіи зависятъ отъ слѣдующихъ причинъ.

1) Какъ уже не разъ говорилось выше, установка оптическихъ осей производится обыкновенно не достаточно точно, причемъ, если уголъ $2V$ получается путемъ построеній при наблюденіи одной только оси, то ошибка удваивается.

2) Затѣмъ мы знаемъ, что эта константа вообще легко подвергается колебаніямъ въ зависимости отъ внѣшнихъ условій, и что въ санидинахъ она имѣетъ совершенно другое значеніе, между тѣмъ у насъ пока нѣтъ критерія для отнесенія даннаго полевого шпата къ тому или другому виду.

3) Иногда является невозможнымъ опредѣлить, къ какому ряду относится изслѣдуемое зерно калиевонатроваго полевого шпата, и въ этомъ

случаѣ, очевидно, одному значенію угла $2V$ отвѣчаютъ два различныхъ по составу полевыхъ шпата.

4) Наконецъ, необходимо отмѣтить, что приведенная діаграмма является только предварительною и нуждается въ провѣркѣ.

Такимъ образомъ мы видимъ, что и уголъ между оптическими осями, представляющій правильную и быстро мѣняющуюся функцію химическаго состава рассматриваемыхъ полевыхъ шпатовъ, все же не можетъ пока служить вполне надежнымъ основаніемъ при опредѣленіи послѣднихъ.

§ 64. Лучепреломленіе.

Чтобы покончить съ разсмотрѣніемъ способовъ опредѣленія калиево-натровыхъ полевыхъ шпатовъ, обратимъ еще вниманіе на константы, связанныя съ лучепреломленіемъ.

Изъ послѣднихъ практически болѣе или менѣе точно опредѣлима только величина двупреломленія, но послѣдняя мѣняется въ отдѣльныхъ представителяхъ данныхъ полевыхъ шпатовъ на очень небольшую величину, имѣя въ среднемъ слѣдующія значенія:

$$\begin{aligned} n_g - n_p &= 0.006 - 8 \\ n_g - n_m &= 0.001 - 2 \\ n_m - n_p &= 0.005 - 6 \end{aligned}$$

Такимъ образомъ эта константа не является характерной для данныхъ минераловъ, и при помощи ея нельзя не только отличать отдѣльные члены изодиморфныхъ рядовъ, но и отмѣчать послѣдніе.

Лишь санидины опредѣляются довольно хорошо при помощи величины двупреломленія, имѣющей для этихъ минераловъ слѣдующія значенія:

$$\begin{aligned} n_g - n_p &= 0.003 - 5 \\ n_g - n_m &= 0.000 - 2 \\ n_m - n_p &= 0.003 - 5 \end{aligned}$$

Нѣсколько лучше обстоитъ дѣло съ показателемъ преломленія, но послѣдній не принадлежитъ къ такимъ константамъ, при помощи которыхъ можно производить опредѣленіе порообразующихъ минераловъ. Впрочемъ, и эта константа при переходѣ изъ одного ряда въ другой мѣняется въ незначительной степени, такъ что она не можетъ быть примѣняема для различенія вида сингоніи, къ которой принадлежитъ данный калиевонатровый полевой шпатъ.

Только въ одномъ случаѣ приведенныя константы могутъ принести существенную пользу—именно, при опредѣленіи микроклина. Дѣло въ томъ, что послѣдній иногда имѣетъ полисинтетически-двойниковое сложеніе только по одному направленію, и такъ какъ уголъ $2V$ у него иногда

поднимается до 88° , если судить по даннымъ *M. Fouqué*, то въ этомъ случаѣ бываетъ чрезвычайно трудно отдѣлить этотъ минераль отъ олигоклаза, имѣющаго такой же внѣшній видъ и тотъ же приблизительно уголъ между оптическими осями, и только величина двупреломленія или—еще лучше—показатель преломленія отличаютъ довольно хорошо оба эти минерала.

Калиевобаріевые полевые шпаты.

Существуетъ еще одинъ типъ полевыхъ шпатовъ, называемый *цельзіаномъ* и представляющій алюмосиликатъ BaO по формулѣ $Ba Al_2 Si_2 O_8$.

Этотъ минераль образуетъ съ ортоклазомъ изоморфную группу моноклинныхъ полевыхъ шпатовъ. Последняя пользуется, повидимому, не особенно большимъ распространеніемъ, встрѣчаясь главнымъ образомъ въ породахъ фояитовой и тералитовой магмъ¹⁾. Несмотря на это, благодаря трудамъ *Strandmark'a*, *Sjögren'a* и нѣкоторыхъ другихъ, оптическія константы этихъ минераловъ являются уже довольно хорошо изученными и могутъ быть сведены въ ниже слѣдующей таблицѣ, взятой изъ указаннаго сочиненія Розенбуша.

О/е-ное со- держание цельзіана.	Уд. вѣсь.	2 V.	$\angle n_p$ [100].	Показатели пре- ломленія			Величины дву- преломленія			Исслѣдователь.
				n_g	n_m	n_p	$n_g - n_p$	$n_g - n_m$	$n_m - n_p$	
5	2.593	-71°	$+2^\circ$	1.5257	1.5240	1.5201	0.0056	0.0017	0.0039	Strandmark.
9	2.645	—	$+5^\circ$	1.5335	—	—	—	—	—	Baumhauer.
20	2.725	$-75^\circ 5'$	-2°	—	—	—	—	—	—	Strandmark.
21	2.733	-74°	-6°	1.5416	1.5395	1.5373	0.0043	0.0021	0.0022	—
24	2.756	-77°	-11°	1.5426	—	—	—	—	—	—
30	2.818	$-78^\circ 5'$	-18°	1.5469	1.5451	1.5419	0.0050	0.0018	0.0032	—
100	3.384	$+86^\circ 5'$	62°	1.5940	1.5886	1.5837	0.0103	0.0054	0.0049	—

По морфологическимъ своимъ признакамъ калиевобаріевые полевые шпаты могутъ быть приняты только за натронортоклазы, отъ которыхъ ихъ отличаетъ цѣлый рядъ свойствъ.

Такъ, прежде всего бросается въ глаза большой уголъ между оптическими осями, близкій къ соотвѣствующимъ угламъ плагиоклазовъ. Затѣмъ, показатель преломленія также является довольно характерной константой, особенно для разностей, богатыхъ BaO . Что касается угловъ погасанія, то послѣдніе могутъ помочь при опредѣленіи данныхъ полевыхъ шпатовъ только въ томъ случаѣ, когда послѣдніе близки цельзіану, или когда имѣются ориентированныя сѣченія, по которымъ можно узнать, какое положеніе въ кристаллѣ занимаютъ оси упругости.

¹⁾ *H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie* 12, 1905, s. 309.

Расположеніе послѣднихъ сильно мѣняется на протяженіи всего ряда. На фигурѣ 47-ой показано, какъ располагаются элементы оптического эллипсоида у ортоклаза (1) и цельзіана (2). Изъ нея видно, что у представителей даннаго ряда всѣ оси упругости мѣняются своими мѣстами. По этой причинѣ опредѣленіе пространственныхъ отношеній между элементами разсматриваемыхъ минераловъ въ зернахъ, которыя не могутъ быть точно установлены, встрѣчаетъ довольно серьезныя затрудненія.

Вообще, способы опредѣленія калиевобаріевыхъ полевыхъ шпатовъ аналогичны таковымъ натронортоклазовъ.

Пертитовыя сростанія полевыхъ шпатовъ.

При изученіи химическаго состава полевыхъ шпатовъ нерѣдко получаются результаты, несогласные съ нѣкоторыми свойствами этихъ минераловъ. Это несоотвѣтствіе болѣею частью обусловливается закономѣрнымъ сростаніемъ въ одномъ кристаллѣ двухъ полевошпатовыхъ видовъ, изъ которыхъ одинъ часто проявляется въ видѣ такихъ мелкихъ пластинокъ, что при бѣглыхъ наблюденіяхъ послѣднія могутъ быть совершенно не замѣчены.

Закономѣрныя сростанія двухъ полевошпатовыхъ видовъ называются вообще пертитовыми и раздѣляются на слѣдующія разновидности.

1) *микрпертиты* представляютъ самый обыкновенный случай такихъ образованій. Въ нихъ главнымъ минераломъ является какой-нибудь калиевонатровый полевой шпатъ, вмѣщающій въ себѣ участки обыкновенно очень кислаго плагіоклаза, близкаго альбиту.

Эти участки проявляются болѣею частью въ видѣ очень тонкихъ полосокъ, располагающихся по плоскости $(\bar{8}01)$ вмѣщающаго ихъ минерала и иногда имѣющихъ такой правильный видъ, что весь кристаллъ кажется полисинтетическимъ двойникомъ (фиг. 48a). Въ другихъ случаяхъ полоски выклиниваются, мѣняютъ свою ширину или представляются въ видѣ шестоватыхъ включеній, почти совпадающихъ съ вертикальною осью минерала и имѣющихъ эллиптическое или круглое поперечное сѣченіе (фиг. 48b).

Во всѣхъ этихъ болѣе или менѣе правильныхъ полоскахъ альбита трудно обыкновенно усмотрѣть двойниковую штриховку послѣдняго.

Но бываютъ и такія сростанія, при которыхъ участки альбита достигаютъ уже значительныхъ размѣровъ, имѣя болѣею частью неправильный видъ. При разсмотрѣніи этихъ пертитовъ получается такое впечатлѣніе, какъ-будто два кристалла, состоящіе изъ калиевонатроваго полевого шпата и тонкопластинчатаго плагіоклаза, проросли другъ друга самымъ случайнымъ образомъ, причѣмъ относительное количество этихъ минеральныхъ видовъ можетъ быть очень разнообразнымъ вплоть до полнаго вытѣсненія одного минерала другимъ (фиг. 48 c).

Въ этихъ случаяхъ возможно бываетъ опредѣлить, что оба минерала сростаются такъ, что плоскости (010) являются параллельными, чѣмъ и опредѣляется закономѣрный характеръ этихъ образований.

Такъ называемый Schachbrett—Albit (шахматный альбитъ) ¹⁾ представляетъ микропертитъ, въ которомъ вещество калиевонатроваго полевого шпата совершенно вытѣснено альбитомъ. Это замѣщеніе отразилось на кристаллѣ альбита въ томъ, что двойниковыя пластинки послѣдняго часто прерываются, причемъ длина ихъ обыкновенно не больше ширины. Благодаря такой микроструктурѣ, препаратъ альбита, вырѣзанный нормально къ (001) и (010), при $\times$ николяхъ походитъ на шахматную доску.

2) При уменьшеніи ширины микропертитовыхъ вростковъ получаются переходы только что описанныхъ образований къ т. н. *криптопертитамъ*. Такъ какъ эти вростки располагаются по плоскости $(\bar{8}01)$, представляющей частую и тонкую отдѣльность калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ, то часто трудно бываетъ рѣшить, съ чѣмъ приходится имѣть дѣло: съ одною ли отдѣльностью или также съ криптопертитовыми полосками, отложившимися вдоль послѣдней.

Вотъ химическій анализъ такихъ образований, принимаемыхъ за однородные минералы, можетъ дать совершенно не вѣрные результаты.

Для различенія подобныхъ образований полезно бываетъ подвергнуть изслѣдуемый препаратъ вращеніямъ около осей универсальнаго столика, такъ какъ при нѣкоторыхъ положеніяхъ вростковъ послѣдніе проявляются иногда довольно отчетливо. Но болѣею частью приходится прибѣгать къ способу *F. Becke* ²⁾, который состоитъ въ томъ, что при помощи простыхъ пріемовъ вызывается рѣзкость очертаній и рельефа составныхъ частей препарата, обладающихъ различнымъ лучепреломленіемъ, благодаря чему онѣ легко отдѣляются другъ отъ друга.

Наконецъ, для достиженія указанной цѣли нужно обращать вниманіе на слѣдующее обстоятельство. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ криптопертитовыя вростки сильно скучиваются, происходитъ усвоеніе нѣкотораго количества Na_2O вмѣщающимъ полевымъ шпатомъ, вслѣдствіе чего уголъ погасанія послѣдняго на плоскости, перпендикулярной n_g , иногда значительно увеличивается. Впрочемъ, это явленіе можно объяснить совмѣстнымъ дѣйствіемъ на проходящій свѣтъ того и другого минерала, ориентированныя пластинки которыхъ налегаютъ другъ на друга.

3) Далѣе, существуетъ типъ пертитовыхъ сростаній, отличающихся отъ предыдущихъ тѣмъ, что у нихъ вмѣщающимъ минераломъ является плагіоклазъ, а вростки состоятъ изъ калиевонатроваго полевого шпата ³⁾. Эти вростки имѣютъ обыкновенно видъ болѣе или менѣе короткихъ

¹⁾ *F. Becke. Zur Physiographie der Gemengtheile der krystallinen Schiefer. Wien. 1906, 28.*

²⁾ *F. Becke. Ueber die Bestimmbarkeit der Gesteinsgemengtheile etc. Wien. Ak. 102 (1) 1893; 358.*

³⁾ *F. Suess. Ueber Perthitfeldspäthe aus krystallinischen Schiefergesteine. Jahrbuch. d. g. Reichsanstalt. LIV, 1904; s. 417.*

шестовидныхъ включеній прямоугольной или трапециoidalной формы. Своимъ длиннымъ направленіемъ они располагаются или по вертикальной оси или по ребрамъ пересѣченія плоскостей призмы съ основнымъ пинаксидомъ плагіоклаза. Фигура 49 даетъ представленіе о такихъ образованияхъ, называемыхъ *антипертитами*.

Описанныя пертитовыя образования объясняютъ содержаніе CaO въ анализахъ многихъ калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ и K_2O въ анализахъ плагіоклазовъ. Но возможно, что иногда алюмосиликаты этихъ окисловъ входятъ въ составъ соотвѣствующихъ минераловъ въ видѣ изоморфныхъ подмѣсей, и что, слѣдовательно, должны существовать моноклинная модификація известкового и вторая триклинная модификація калиеваго полевого шпата. Последнее тѣмъ болѣе вѣроятно, что натріевый полевой шпатъ является диморфнымъ въ триклинной сингоніи.

Этотъ вопросъ еще совершенно не выясненъ, а между тѣмъ если, дѣйствительно, существуютъ подобныя модификаціи, то онѣ должны вліять на свойства тѣхъ полевыхъ шпатовъ, въ составъ которыхъ входятъ.

4) Наконецъ, въ литературѣ можно найти указанія на законмѣрныя пертитоваго характера сростанія двухъ полевошпатовыхъ видовъ, принадлежащихъ къ одному и тому же изоморфному ряду. Такія образования, по аналогіи съ предыдущими, можно бы назвать *изопертитами*. Впрочемъ, у насъ имѣется еще недостаточное количество наблюденій, на основаніи которыхъ эти образования могутъ считаться вполне доказанными.

Наиболѣе опредѣленные данныя относительно послѣднихъ приводятся въ только что появившейся работѣ А. Н. Заварицкаго: „Петрографическія наблюденія въ окрестностяхъ Міасскаго завода“ (Зап. Горн. Ин-та. III, 1910; 66—67), гдѣ авторъ указываетъ на существованіе пертитовыхъ сростаній ортоклаза, микроклина и другихъ представителей калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ.

Принимая, что всѣ наблюденія были сдѣланы вполне правильно, мы должны обратить вниманіе на то обстоятельство, что пятнистыя полосы, замѣчавшіяся авторомъ въ нѣкоторыхъ зернахъ микроклина и обладавшія значительно меньшимъ угломъ $2V$, чѣмъ этотъ минералъ, можетъ быть, представляютъ двойниковыя пластинки того же самого микроклина, налегающія неправильно другъ на друга при данномъ сѣченіи шлифа и потому производящія отклоненія въ оптическихъ свойствахъ всей системы.

Такое предположеніе можетъ быть легко провѣрено вращеніемъ препарата около осей универсальнаго столика до такого положенія, при которомъ вертикальная ось минерала, лежащая недалеко отъ n_m , совмѣстится съ осью микроскопа. Въ такомъ положеніи пятнистость однороднаго микроклина исчезаетъ и вмѣсто нея появляется оригинальная рѣшетка.

Вообще, нѣкоторыя оптическія константы триклинныхъ полевыхъ шпатовъ зависятъ не только отъ состава ихъ, но и отъ структуры кристалла, и въ разныхъ сѣченіяхъ послѣдняго, а иногда и въ разныхъ участкахъ одного и того же сѣченія будутъ имѣть различную величину. Это положеніе доказано изслѣдованіями С. Viola¹⁾ надъ полисинтетически двойниковымъ альбитомъ и, конечно, еще болѣе можетъ быть отнесено къ разбираемымъ нами полевымъ шпатамъ.

Вѣроятность нахожденія изопертитовъ должна быть ничтожна, ибо, какъ показываютъ наблюденія, различные представители изоморфнаго ряда, встрѣчаясь въ одномъ кристаллѣ, сростаются совершенно параллельно другъ другу, причемъ болѣею частью образуются зерна съ т. н. *зонаркой структурой*. Такія образованія особенно часто встрѣчаются среди плагіоклазовъ, но свойственны также калиевонатровымъ полевымъ шпатамъ.

Указанная склонность давать совершенно параллельныя сростанія настолько велика у членовъ изоморфныхъ рядовъ, что иногда можно наблюдать, какъ нѣкоторые слои зонарнаго плагіоклаза отлагаются на сильно резорбированныхъ поверхностяхъ ранѣе образовавшагося кристалла²⁾, или какъ трещинка въ кристаллѣ какого-нибудь минерала излечивается другимъ минераломъ, изоморфнымъ съ послѣднимъ³⁾.

Во всякомъ случаѣ такія сростанія должны имѣть правильный зональный характеръ въ зависимости отъ самихъ условій ихъ образованія и потому они отличаются отъ пертитовъ, представляющихъ собственно результаты раздѣленія (entmischung) двухъ разнородныхъ веществъ.

¹⁾ C. Viola Ueber die optische Orientirung des Albits und das Tschermack'sche Gesetz. T. M. P. M. 20, 1901; 199.

²⁾ J. Schmutzer. Ueber Zonarstruktur, Rekurrenz und Resorption. Centralblatt f. Min. etc. 1910, № 13. s. 389.

³⁾ В. В. Никитинъ. Случай вторичнаго нарастанія первичныхъ полевыхъ шпатовъ. Зап. Горн. Ин-та. 1, 1907; 236.

ПРИЛОЖЕНІЕ.

Подробный примѣръ опредѣленія одного плагіоклаза.

Таблица VIII.

Шлифъ наклеивается такъ, чтобы двойниковый шовъ между двумя наиболѣе широкими различно ориентированными индивидами полисинтетическаго двойника плагіоклаза прошелъ черезъ центръ окулярнаго креста (§ 4).

Столикъ микроскопа закрѣпляется въ первоначальномъ положеніи (§ 5, пунктъ 3 с).

Изслѣдованіе перваго индивида.

Ослабляя винтъ *i*, отклоняемъ столикъ около оси *J* отъ себя и вращеніемъ внутренняго круга при помощи винтиковъ верхняго сегмента приводимъ выбранный индивидъ въ состояніе погасанія.

Поворачиваемъ столикъ вокругъ той же оси къ себѣ и достигаемъ затемнѣнія наклоненіемъ внутренняго круга около оси *H*, закрѣпляя положеніе послѣдней винтомъ *h*.

Повторяемъ этотъ пріемъ нѣсколько разъ (иногда въ обратной послѣдовательности), пока при вращеніи столика около оси *J* не будетъ сохраняться погасаніе (§§ 18 и 19).

Производимъ отсчеты координатъ установленной плоскости осей упругости. Индексъ внутренняго круга, стоящій противъ дѣленія 344° внутренняго лимба, указываетъ долготу плоскости.

Вторая координата опредѣляется слѣдующимъ образомъ. Такъ какъ внутренній кругъ наклоненъ вправо, то, ослабивъ винтъ *r*, поворачиваемъ кольцо *R* (придерживаясь только за зазубренный край *m*) противъ часовой стрѣлки на 90° . Вдвигаемъ линзу Бертрана и, отклоняя столикъ вокругъ оси *J* отъ себя, приводимъ блестящій край внутренняго круга въ совмѣщеніе съ горизонтальною нитью окулярнаго креста.

При такомъ положеніи на вертикальномъ лимбѣ получается отсчетъ 82° , откуда высота плоскости равна $90^\circ - 82^\circ = 8^\circ$ (если ноль ноніуса не совпадаетъ съ 90° вертикальнаго круга при такой же установкѣ блестящаго края кольца *R*, то нужно принимать во вниманіе поправку для даннаго прибора, опредѣляемую точно на основаніи § 5, пункта 8 а). Полученныя координаты записываемъ на поляхъ сѣтки, считая наклонъ

плоскости *обратнымъ* тому, какой наблюдается на приборѣ: 1) 344° , *влѣво* 8° .

Ищемъ въ установленной плоскости оптическія оси.

Ослабляя винтъ микроскопа, поворачиваемъ столикъ послѣдняго приблизительно на 45° противъ часовой стрѣлки и вращеніемъ прибора около оси J пробуемъ установить препаратъ на полное погасаніе, сохраняющееся при поворачиваніи столика микроскопа (§ 22). Въ данномъ случаѣ это удастся и при точной установкѣ на полноту погасанія (§§ 19 и 27) средній отсчетъ на вертикальномъ кругѣ равняется 355° . Такимъ образомъ высота найденной оптической оси равна $360^\circ - 355^\circ = 5^\circ$ (поправка для дѣленія 360° вертикальнаго круга, очевидно, та-же, что и для дѣленія 90°). Для графическаго изображенія оптической оси считаемъ наклонъ препарата въ *обратномъ* направленіи и пишемъ на поляхъ сѣтки: A^1_1 —*отъ себя* 5° .

Вторая оптическая ось, лежащая въ нашей плоскости, недоступна наблюденію.

Наносимъ результаты измѣреній на стереографическую сѣтку. Сначала размѣчаемъ окружность послѣдней отъ 0° до 360° *противъ* часовой стрѣлки (можно сдѣлать это и мысленно, пользуясь имѣющимися дѣленіями). Поворачиваемъ сѣтку къ себѣ дѣленіемъ 344° и намѣчаемъ діаметрально противоположную точку окружности. Дуга большого круга, представляющая проекцію найденной плоскости, должна опираться на эти двѣ точки, будучи наклонена *влѣво*. Отложивши по окружности сѣтки 90° отъ одной изъ намѣченныхъ точекъ, проводимъ діаметръ ab . Отсчитывая при помощи концентрическихъ параллелей вдоль этого діаметра по 8° отъ праваго конца послѣдняго и отъ центра сѣтки, получимъ соотвѣтственно полюсъ дуги p и третью точку послѣдней c . Найденный полюсъ нужно обозначить черезъ n_m^1 , какъ перпендикуляръ къ плоскости оптическихъ осей, а дугу легко начертить по тремъ точкамъ при помощи круговой линейки (§§ 9 и 11).

Чтобы найти проекцію оптической оси, откладываемъ по окружности сѣтки отъ лѣваго конца упомянутаго выше діаметра ab 5° отъ себя и, соединяя полученную точку съ полюсомъ n_m^1 , имѣемъ въ пересѣченіи съ дугой проекцію оси A^1_1 (§ 27).

Устанавливаемъ вторую плоскость осей упругости. Приведя столикъ микроскопа въ первоначальное положеніе, поворачиваемъ внутренній кругъ приблизительно на 90° и тутъ ищемъ, по предыдущему, упомянутую плоскость упругости. Получаемъ координаты: 2) 80° , *влѣво* 34° .

Графическое построеніе этой плоскости можетъ быть значительно упрощено, ибо намъ нужно найти собственно оси упругости. Поворачиваемъ сѣтку къ себѣ дѣленіемъ 80° и, отсчитавши отъ послѣдняго 90° , проводимъ черезъ полученное дѣленіе (170°) діаметръ, на которомъ будетъ лежать полюсъ плоскости, отстоящій отъ праваго конца этого

діаметра на 34° . Получаемъ точку f_1 , которая въ данномъ случаѣ какъ разъ совпадаетъ съ найденной раньше дугой. Если бы такого совпаденія не было, то пришлось бы выравнивать результаты всѣхъ измѣреній, согласно § 21.

Для нахождения третьей оси упругости проектируемъ точку f_1 изъ n_m^1 на окружность сѣтки, отсчитываемъ на послѣдней 90° и, соединяя полученную точку съ n_m^1 , въ пересѣченіи съ дугою имѣемъ проекцію искомой оси f_2 .

Опредѣляемъ величины осей упругости. Беремъ вторую плоскость упругости и устанавливаемъ ось f_2 вертикально, для чего поворачиваемъ приборъ около оси J къ себѣ (если держать сѣтку дѣленіемъ 80° къ себѣ) на уголъ $f_2 f_1 O$, равный приблизительно 8° , и закрѣпляемъ винтъ γ . Поворачиваемъ столикъ микроскопа на 45° противъ часовой стрѣлки и вводимъ въ прорѣзъ трубы микроскопа слюдяной компараторъ: получается ослабленіе интерференціоннаго цвѣта. Поэтому (§ 23, табличка) ось, лежащая по направленію прорѣза, т.-е. n_m^1 будетъ больше сравниваемой съ нею оси f_1 , которую нужно назвать черезъ n_p^1 , а ось f_2 —конечно—черезъ n_g^1 .

Теперь можно опредѣлить уголъ между оптическими осями и знакъ плагіоклаза. Проектируемъ изъ полюса плоскости оптическихъ осей n_m^1 на окружность сѣтки точки n_g^1 и A_1^1 и отсчитываемъ уголъ между проекціями послѣднихъ, равный 42.5° .

Очевидно, $2V = + 85^\circ$ (§ 27).

Изслѣдованіе второго индивида.

Описаннымъ выше образомъ изслѣдуемъ второй индивидъ, находя оси упругости n_g^2 , n_m^2 и n_p^2 . Оптическія оси въ этомъ индивидѣ непосредственно не опредѣлимы. Хотя въ данномъ случаѣ нѣтъ настоящей необходимости находить ихъ, такъ какъ уголъ $2V$ плагіоклаза намъ уже извѣстенъ, тѣмъ не менѣе для иллюстраціи приемовъ, изложенныхъ въ § 28, мы это сдѣлаемъ.

Устанавливаемъ ось n_m^2 вертикально, не наклоняя препарата около оси J . Для этого проводимъ діаметръ черезъ n_m^2 , отсчитываемъ отъ конца послѣдняго по окружности сѣтки 90° и ставимъ индексъ внутренняго круга столика противъ соотвѣтствующаго дѣленія, напримѣръ, 318° . Затѣмъ поворачиваемъ внѣшнее кольцо R на 90° по часовой стрѣлкѣ и наклоняемъ препаратъ около оси J отъ себя на сферическое разстояніе точки n_m^2 отъ центра сѣтки, т.-е. совмѣщаемъ ноль ноніуса вертикальнаго круга съ 66° ($90^\circ - 24^\circ$) послѣдняго. Наконецъ, вдвигаемъ линзу Бертрана и наклоненіемъ внутренняго круга вокругъ оси H совмѣщаемъ блестящій край послѣдняго съ горизонтальною нитью окулярнаго креста. Если теперь поставить внѣшнее кольцо R и вертикальный кругъ въ первоначальное положеніе, то ось n_m^2 окажется совмѣщенной съ осью микроскопа, а оси упругости n_g^2 и n_p^2 займутъ положенія n_1 и n_2 .

Такъ какъ уголъ $2V$ второго индивида нашего двойника долженъ быть вообще такой же, что и у первого индивида, то оптическія оси его, по всей вѣроятности, займутъ при данной установкѣ положеніе OE и OF , причемъ дуга $En_1 = n_1F = 42.5^\circ$.

Сдѣлавши такое предположеніе, поворачиваемъ внѣшнее кольцо R на 53° по часовой стрѣлкѣ, и тогда оптическая ось OE должна прійти въ плоскость симметріи микроскопа. Для повѣрки этого положенія отклоняемъ препаратъ около оси J къ себѣ—положимъ—на 40° . Тогда проекція оси n_m^2 передвинется въ точку P , а проекціей оптической оси OF будетъ точка F^1 . Согласно § 28, проводимъ діаметръ черезъ послѣднюю точку и дѣлимъ пополамъ дугу EF_1 .

Если теперь повернуть столикъ микроскопа по часовой стрѣлкѣ на половину этой дуги, равную 43° , то должно наступить погасаніе, что дѣйствительно и наблюдалось.

Отсюда можно заключить, что положеніе оптическихъ осей второго индивида было принято нами правильно, и что такимъ образомъ

$$2V = + 85^\circ.$$

Опредѣленіе двойниковаго образованія.

Проводя дуги большихъ круговъ черезъ одноименные полюсы осей упругости, находимъ въ ихъ пересѣченіи проекцію двойниковой оси $B_{1,2}$.

Для повѣрки послѣдней ставимъ индексъ внутренняго круга противъ дѣленія 272° и наклоняемъ приборъ около оси J на 40° отъ себя: въ данномъ случаѣ при вращеніи столика микроскопа двойникъ кажется простымъ индивидомъ.

Измѣряемъ трехногимъ циркулемъ (§ 13) координаты двойниковой оси:

$$\angle B_{1,2} \begin{cases} n_g^1 \text{ или } n_g^2 = 37^\circ \\ n_m^2 = 59^\circ \\ n_p^1 = 72^\circ. \end{cases}$$

О сокращенномъ способѣ опредѣленія этихъ координатъ см. § 42.

Откладывая на двойниковой діаграммѣ (табл. X) 37° отъ праваго или лѣваго конца горизонтальнаго діаметра, 72° отъ верхняго или нижняго конца вертикальнаго діаметра—по экваторіальнымъ параллелямъ и $59,5^\circ$ отъ центра сѣтки по концентрическимъ окружностямъ, находимъ во взаимномъ пересѣченіи параллелей четыре точки, изъ которыхъ только двѣ падаютъ на имѣющіяся кривыя: одна точка указываетъ на № 63 двойника по периклиновому, а другая точка—приблизительно на № 26 двойника по закону: двойниковая ось—биссектриса угла между $[010]$ и $[001]$.

Для уничтоженія этого двусмысленнаго рѣшенія обращаемся прежде всего къ углу между оптическими осями, который по діаграммѣ фигуры 41-ой опредѣленно указываетъ на № 63.

Такъ какъ въ выбранномъ зернѣ имѣются хорошія трещинки спайности, то дѣлаемъ дальнѣйшія повѣрки нашего опредѣленія при помощи послѣдней.

Устанавливаемъ сначала плоскость этой спайности (§ 24) и послѣ нѣсколькихъ отсчетовъ находимъ координаты ея съ точностью до $\frac{1}{2}^\circ$: 114° , вправо $17,5^\circ$. По этимъ координатамъ строимъ проекцію плоскости спайности съ полюсомъ въ точкѣ B_{001} .

Углы погасанія.

Начертивши проекціи всѣхъ трехъ плоскостей осей упругости 2-го индивида, въ которомъ находится установленная трещинка спайности, измѣряемъ угловыя величины Xn_m^2 , Yn_p^2 и Zn_g^2 , какъ углы погасанія на плоскостяхъ, перпендикулярныхъ осямъ n_p^2 , n_g^2 и n_m^2 (§ 55):

$$\begin{aligned} \angle X n_m^2 &= 45^\circ \\ \angle Y n_p^2 &= 45^\circ \\ \angle Z n_g^2 &= 27^\circ \end{aligned}$$

Послѣдній уголъ можно повѣрить и въ препаратѣ. Для этого, по предыдущему, совмѣщаемъ ось n_m^2 съ осью микроскопа и, вращая столикъ послѣдняго, непосредственно измѣряемъ уголъ погасанія, отнесенный къ слѣду трещинки спайности.

Нанося значенія найденныхъ величинъ на діаграмму фигуры 43-ей, видимъ, что, отвѣчая одной абсциссѣ, соответствующей приблизительно № 63, они опредѣляютъ спайность (001).

Итакъ, и по угламъ погасанія плагіоклазъ относится къ № 63.

Координаты полюса спайности.

Измѣряемъ координаты полюса спайности:

$$\angle B_{(001)} \left\{ \begin{array}{l} n_g^2 = 52^\circ \\ n_m^2 = 51^\circ_5 \\ n_p^2 = 62^\circ. \end{array} \right.$$

Такъ какъ перпендикуляръ къ (001) соответствуетъ двойниковой оси по Манебахскому закону, то, откладывая полученные координаты на двойниковой діаграммѣ, беремъ проекцію этой оси возлѣ манебахской кривой: отмѣченная точка близка № 63.

Итакъ, нѣсколько опредѣленій согласно указываютъ на то, что данный плагіоклазъ относится къ № 63. Поэтому и двойниковый законъ, по которому образованъ изслѣдованный двойникъ, есть периклиновый.

Имѣя кристаллографическую плоскость (001), установленную съ точностью до $\frac{1}{2}^\circ$, повѣряемъ кристаллографическое значеніе двойниковой оси. Изъ стереограммы даннаго плагіоклаза видимъ, что эта ось лежитъ въ плоскости (001) и потому, дѣйствительно, можетъ быть [010].

Кромѣ того на приложенномъ рисункѣ показано, что плоскость сро-

станія индивидовъ двойника болѣе или менѣе параллельна указанной спайности, что тоже характеризуетъ периклиновый законъ, позволяя отличить его отъ похожаго на него закона альбитоваго.

Въ заключеніе нужно отмѣтить, что при нѣкоторомъ навыкѣ описанное подробное опредѣленіе плагиоклаза можно сдѣлать въ теченіе одного часа; для опредѣленія же по одному двойниковому закону, что обыкновенно и встрѣчается при обработкѣ петрографическаго матеріала, достаточно бываетъ и десяти минутъ.

Такимъ образомъ универсальный методъ является вполне удобнымъ петрографическимъ методомъ, и Федоровскій столикъ въ соединеніи съ микроскопомъ долженъ быть необходимою принадлежностью каждаго петрографа.

Опечатки.

Стр.	Строчка.	Напечатано.	Должно быть.
1.	21 снизу	шлянки	шляпки
4.	1 "	Feldspathstudien,	Feldspathstudien I.
5.	16 сверху	равной	равный
6.	1 "	а—	α—
"	16 "	концентрическихъ	концентрическихъ
"	2 снизу	Traité	Traité
"	" "	pétrographique	pétrographique
7.	22 "	и—главное—сегментовъ,	и сегментовъ,
9.	25 "	объектива	объектива
16.	2 "	O =	OQ =
17.	5 сверху	90° 2α	90°—2α
"	8 "	Далѣ	Далѣ,
19.	26 "	не было,	не было;
19.	2 снизу	Dreispißzirkels	Dreispißzirkels
20.	18 сверху	Такъ	Такъ,
21.	7 снизу	свѣтлоокрашенный	свѣтлоокрашенный
25.	21 сверху	освѣтаютъ	совпадаютъ.
"	22 "	трубку	трубу
32.	2 "	336°	336°,
"	6 "	Теперь	Теперь,
39.	7 "	Н	Н,
45.	9 снизу	санія	саніе
48.	1 "	Univers lmethode	Universalmethode
51.	20 "	манипуляціяхъ,	манипуляціяхъ
59.	11 "	ϕ°	φ°
"	1 "	Kr.	f. Kr.
60.	8 сверху.	Правую часть формулы умножить на 0,009.	
62.	8 "	Вl.	Вl,
65.	7 "	полученіе	полученія
"	21 "	такъ	такъ,
66.	4 "	дѣленія	дѣленіи
68.	1 "	уголъ	уголъ ρ
69.	14 снизу	Н и J	Н и J,
"	9 "	$\frac{\cos H_2. \cos J_1}{\cos H_1. \cos J_2}$	$\frac{\cos H_2. \cos J_2}{\cos H_1. \cos J_1}$
"	8 "	$\frac{\cos H_1. \cos J_2}{\cos H_2. \cos J_1}$	$\frac{\cos H_1. \cos J_1}{\cos H_2. \cos J_2}$

Стр.	Строчка.	Напечатано.	Должно быть.
70.	6 сверху	сѣткѣ	сѣткѣ.
71.	17 "	равности хода р	разности хода р.
"	18. "	$x = \frac{e}{p}$.	$x = \frac{p}{e}$.
83.	13 "	n_r	n_r
"	15 снизу	Иъ	Изъ
87.	1 сверху	координаты	координаты —
"	4 "	плоскости	плоскостей
91.	5 "	Такъ	Такъ,
96.	1 снизу	Minéralogie	minéralogie
"	1 "	³⁾	²⁾
"	1 "	110.	310.
98.	4 сверху	зованія	разованія
"	3 снизу	F eldspathstudien	Feldspathstudien
100.	4 сверху	осью	осью:
"	9 "	законы	закона
102.	8 снизу	то	то,
"	1 "	des	de
105.	15 сверху	ограничиться	ограничиваться
106.	1 "	(110)	(110)
110.	13 "	одинаковые	одинаковыя
"	12 снизу	отъ	еть
111.	11 "	примѣнить	примѣнять
112.	2 "	d s	des
119.	3 "	m monoclinique	monoclinique
120.	1 "	¹⁾	²⁾
122.	1 "	Min ralogie	Mineralogie
125.	2 сверху	ломленій	ломленія

Шлабунга VIII

Шууды № 307e Шонгун-
1905г.

исполн. командирин

I 1) 344°, бурбо 8°

A₁ отк. ссд. 5°
2) 80°, бурбо 34°
2U = +85°

II 1) 55°, бурбо 2.5°
2) 146°, бурбо 24°

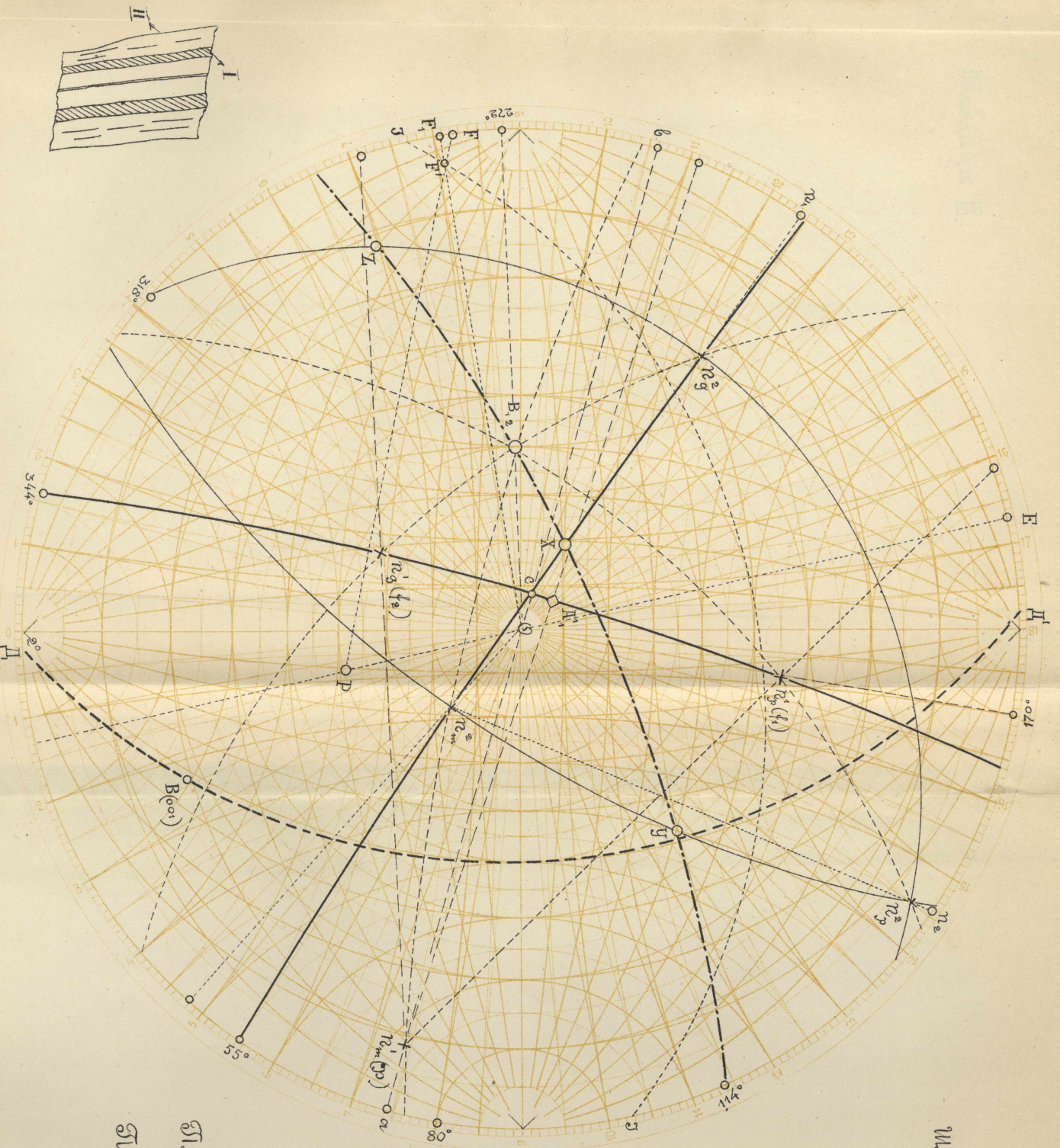
< B₁₂ { n_g = 37°
n_m = 59.5°
n_p = 72°

Снашивание бо II унгулугте:
114°, бурбо 12.5°

< n_m²(001) = 45°
< n_p²(001) = 37°
< n_g²(001) = 53°

Шлабунга № 63

Шлабунга закон.



Магнитное поле

I Альфа-лучи $\perp (010)$

II Мюллеровские $\perp (001)$

III Дебейерские $[100]$

IV Рентгеновские $[001]$

V Дифракционные $[010]$

VI $\perp [100] \parallel (010)$

VII $\perp [001] \parallel (010)$

VIII $\perp (100)$

IX $\perp (010)$

X $\perp (110)$

XI $\perp [010] \parallel [100]$

XII $\perp [010] \parallel [100]$

Эксперимент

+mg

