

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI

TOIMETISED

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ

ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS

527

ALUSPÕHJA KIVIMITE
LITOSTRATIGRAAFIA JA MINERALOOGIA
ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ
КОРЕННЫХ ПОРОД

TÕID GEOLOOGIA ALALT
ТРУДЫ ПО ГЕОЛОГИИ
VIII

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED
УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ACTA ET COMMENTATIONES UNIVERSITATIS TARTUENSIS
ALUSTATUD 1893. a. VIHK 527 ВЫПУСК ОСНОВАНЫ ■ 1893 г.

ALUSPÕHJA KIVIMITE
LITOSTRATIGRAAFIA JA MINERALOOGIA
ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ И
МИНЕРАЛОГИЯ КОРЕННЫХ ПОРОД

TÕID GEOLOGIA ALALT
ТРУДЫ ПО ГЕОЛОГИИ
VIII



TARTU 1982

Redaktsioonikolleegium:

A. Rõõmusoks (vastut. toimetaja), A. Loog, A. Oraspõld.

Редакционная коллегия:

А. Рыumusокс (отв. ред.), А. Лоог, А. Ораспыльд.

Ученые записки Тартуского государственного университета.

Выпуск 527.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ КОРЕННЫХ ПОРОД.

Труды по геологии УИИ.

На русском и эстонском языках.

Резюме на русском и английском языках.

Тартуский государственный университет.

ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Ойикооли, 18.

Ответственный редактор А. Рыumusокс.

Корректоры В. Логинова, В. Лауг, Л. Кивимяги.

Подписано к печати 21.05.1982.

МВ 04344.

Формат 60x90/16.

Бумага типографская № 2.

Машинопись. Ротапринт.

Учетно-издательских листов II,46.

Печатных листов II,0+3 вклейки.

Тираж 400.

Заказ № 606.

Цена I руб. 70 коп.

Типография ТГУ, ЭССР, 202400, г.Тарту, ул.Пялоона, 14.

МЕТОДИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ МЕТОДОМ ПОРОШКА

Ю. Кирс, К. Утсал

Препарирование зерен

При выделении чистых полевых шпатов из средне- и крупнозернистых пород наилучшие результаты дает ручное сепарирование под бинокуляром. Как правило, калиевые полевые шпаты хорошо отличаются от плагиоклазов своим красноватым цветом. Если калишпаты светлые или зеленоватые, то самым надежным критерием разделения полевых шпатов является штриховатость от полисинтетического двойникования на плоскости спайности плагиоклаза.

В случае более мелкозернистых пород фракционирование приходится проводить в тяжелых жидкостях, например в бромформе, разбавляя его этиловым спиртом до требуемой плотности.

Подготовка препарата

Чистые фракции полевых шпатов растирались в агатовой ступке до размера зерен около 0,05 мм и меньше, достаточных для рентгеновского исследования дифрактометрическим методом. Практически порошок растирался до исчезновения хрустящего звука кристалликов.

После введения в порошок 10—20%-ного внутреннего эталона, смесь тщательно перемешивалась, чем достигалась наибольшая однородность.

Для подложки препарата использовалось стеклышко, на концы которого были наклеены бумажные полосы (Утсал, 1971). Площадь между полосами смазывалась тонким слоем вазелина, на который наносили слой исследуемого порошка. Чтобы по возможности избежать эффекта ориентации кристалликов, порошок прессовали слегка матовым стеклом, придавая препарату ровную поверхность на уровне бумажных полос.

Съемка на дифрактометре

Съемка препарата производилась на рентгеновском дифрактометре УРС-50-ИМ. Условия съемки на отфильтрованном железном излучении при регистрации сцинтилляционным счетчиком следующие: напряжение 22 кв.; ток 11 ма; щели 0,5 : 1,0 : : 0,5; постоянная времени 10 сек. Скорость вращения счетчика $0,5^\circ$ в мин. скорость движения ленты 1 см/мин. Препарат не вращался.¹

Исследование калиевых полевых шпатов

Для калибрования углов отражений калишпата используются разные эталоны, наиболее часто кварц и KВгO_3 (Orville, 1967; Боруцкий, 1971; Vogta, 1971). Кварц, являясь очень удобным эталоном, имеет следующий недостаток: если в исследуемом калишпате содержание Na-компонента около 10% или меньше, то рефлексы $(\bar{2}01)$ калишпата и (100) кварца перекрываются. KВгO_3 , по которому удобно уточнить положение $(\bar{2}01)$ пика калишпата, в свою очередь, дает сильное отражение, которое накладывается на рефлексы $(\bar{1}\bar{3}1)$ и (131) калишпата, таким образом исключая возможность определения триклинности последнего.

Поэтому мы использовали в качестве внутреннего эталона CsNO_3 , рефлексы которого не перекрываются отражениями калишпата ни в одном исследуемом интервале. Данные для CsNO_3 получены из каталога ASTM (карта 10779), кроме того он калибровался по эталонному кварцу (Каменцев, 1970). Применяемые нами рефлексы CsNO_3 :

(hkl)	d	l
(111)	4,467	38
(222)	2,232	21
(114) ²	1,820	22

При использовании в виде внутреннего стандарта CsNO_3 препарат не должен содержать кварц, иначе перекрывается часть рефлексов CsNO_3 .

Смесь пертитового калишпата и CsNO_3 снята на дифрактометре по следующим интервалам $2\Theta_{\text{FeK}\alpha}$:

от 23° до 28° — для выяснения положения пиков $(\bar{2}01)$ калишпата и альбита;

¹ Часть препаратов из калишпатов вращалась.

² В сущности, это двойной рефлекс:

(hkl)	d	l
(330)	1,826	18
(114)	1,820	22

- от 36° до 40° — для определения разделения пиков (131) и (131) калишпата;
- от 50° до 55° — для определения угла отражения рефлекса (060) калишпата;
- от 60° до 66° — для определения угла отражения рефлекса (204) калишпата
(в этом интервале можно наблюдать и (400) рефлекс калишпата).

Полученные таким путем данные дают возможность выяснить структурное состояние калишпата и содержание Na-фазы в нем следующим образом.

I. Оценка степени упорядочения

Под степенью упорядочения (беспорядок в замещении по Мегу (Megow, 1959)) в полевых шпатах подразумевается распределение атомов Al в тетраэдрических позициях (Si, Al)-O каркаса. Эти позиции обозначаются как T_{10} , T_{1m} , T_{20} и T_{2m} (Taylor, 1962). В полностью неупорядоченном щелочном полево-м шпате (высокий санидин, анальбит*) атомы Al распределены равномерно между четырьмя тетраэдрическими положениями, так что вероятность нахождения Al в одной такой позиции равна на 0,25. Обозначив вероятность нахождения Al в тетраэдрическом положении через t_i , можно для полностью неупорядоченного полевого шпата (высокого санидина) написать: $t_{10} = t_{1m} = t_{20} = t_{2m} = 0,25$ (Stewart & Ribbe, 1969). Процесс упорядочения — это миграция атомов Al в позицию типа T_{10} . Для более упорядоченных, чем высокий санидин, но моноклиновых калишпатов (ортоклазы) характерно, что Al распределен равномерно между позициями T_{10} и T_{1m} ($t_{10} = t_{1m}$), причем, как во всех щелочных полевых шпатах, выдерживается условие $t_{20} = t_{2m}$. В полностью упорядоченном триклинном щелочном полево-м шпате (максимальный микроклин, низкий альбит) вероятности распределения Al между четырьмя тетраэдрическими позициями следующие: $t_1 = 1,0$, $t_{1m} = t_{20} = t_{2m} = 0$.

Райт и Стюарт (Wright & Stewart, 1968, Stewart & Wright, 1974) показали, что в щелочных полевых шпатах параметры элементарной ячейки b и c связаны однозначно со степенью упорядочения и составили диаграмму для оценки структурного состояния щелочного полевого шпата исходя из величин b и c .

Обозначив через $\Delta(bc)$ местоположение точки щелочного полевого шпата на диаграмме координатами b и c , Стюарт и Риббе (Stewart & Ribbe, 1969) связывали $\Delta(bc)$ с вероятностями

* Под термином «анальбит» подразумевается максимально разупорядоченный триклинный высокий альбит (Laves, 1960).

распределения Al в (Si, Al) —O каркасе следующим образом: $\Delta(bc) = t_{10} + t_{1m}$. Подобным образом, исходя из величин углов обратной решетки α^* и γ^* и обозначив расположения точек щелочных полевых шпатов на диаграмме $\alpha^* - \gamma^*$ через $\Delta(\alpha^*\gamma^*)$, они показали, что $\Delta(\alpha^*\gamma^*) = t_{10} - t_{1m}$.

Следовательно, при помощи величин $\Delta(bc)$ и $\Delta(\alpha^*\gamma^*)$ можно однозначно определить вероятность нахождения Al в каждой структурной позиции, т. е. оценить степень упорядочения щелочного полевого шпата.

Определение параметров элементарной ячейки довольно громоздко. Часто положение затрудняется тем, что в пробе щелочные полевые шпаты представлены разноупорядоченными фазами, в результате чего на дифрактограммах возникают перекрывающиеся диффузные рефлексы. Поэтому при массовом опре-

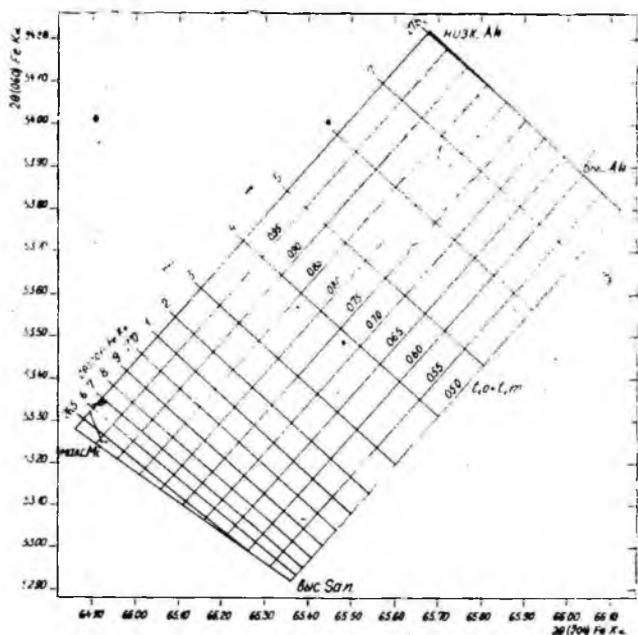


Рис. 1. График метода «трех пиков» (Wright, 1968), построенный по уточненным данным Стюарта и Райта (Stewart & Wright, 1974). Положение серии щелочных полевых шпатов: высокий санидин (San) — высокий альбит (Ab) и максимальный микроклин (Mi) — низкий альбит в координатах $2\theta(060)FeK\alpha_1 - 2\theta(204)FeK\alpha_1$. Между ними параллельными линиями отмечены суммарные вероятности распределения атомов Al в позициях T_{10} и T_{1m} ($\Delta(3n) = t_{10} + t_{1m}$). Поперечными к сериям линиями показаны значения $2\theta(201)FeK\alpha_1$, соответствующие значениям $2\theta(060)FeK\alpha_1$ и $2\theta(204)FeK\alpha_1$ при нормальной ячейке полевого шпата.

делении степени упорядоченности щелочных полевых шпатов мы использовали упрощенный подход.

Райт (Wright, 1968), предложив свой так называемый «метод трех пиков», показал, что в принципе (хотя с меньшей точностью) степень упорядочения щелочного полевого шпата можно вывести исходя вместо величин b и c и непосредственно из углов отражения (2θ) рефлексов ($\bar{2}04$) и (060) . По уточненным данным Райта и Стюарта (Wright & Stewart, 1974) мы составили соответствующий график для используемого нами железного излучения (рис. 1). Местоположение точки щелочного полевого шпата на этой диаграмме мы обозначаем величиной Δ ($3n$).

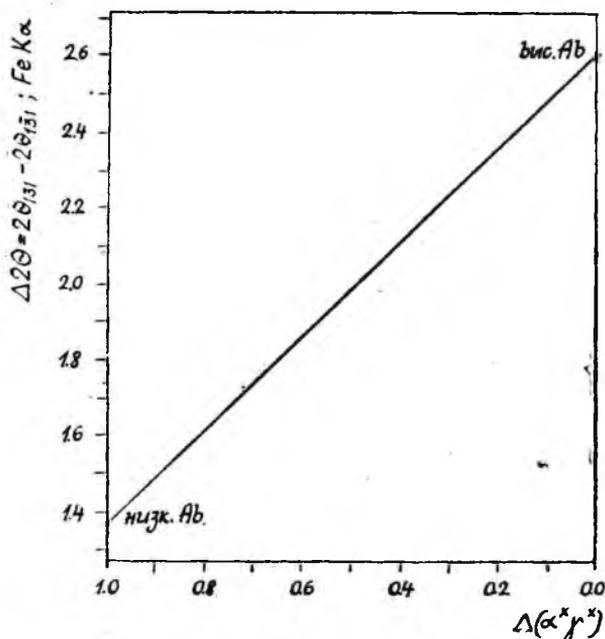


Рис. 2. График перевода величин $\Delta 2\theta = 2\theta_{131} - 2\theta_{\bar{1}31}$; FeK α на величины $\Delta(\alpha^*\gamma^*)$ для альбитов (Stewart & Ribbe, 1969). В интервале 2θ FeK α от 1,37 до 2,26 график действителен и для плагиоклазов № 0—35 (Stewart & Ribbe, 1969, с. 456).

Вместо величины $\Delta(\alpha^*\gamma^*)$ можно использовать величину расхождения углов отражения рефлексов (131) и $(\bar{1}31)$, т. е. разницу $\Delta 2\theta = 2\theta_{131} - 2\theta_{\bar{1}31}$. Для альбита и кислого платиноклаза (до № 35) Стюарт и Риббе (Stewart & Ribbe, 1969) составили график перевода значения $\Delta 2\theta$ на значения $\Delta(\alpha^*\gamma^*)$ (рис. 2). В случае калишпатов мы использовали для этой цели

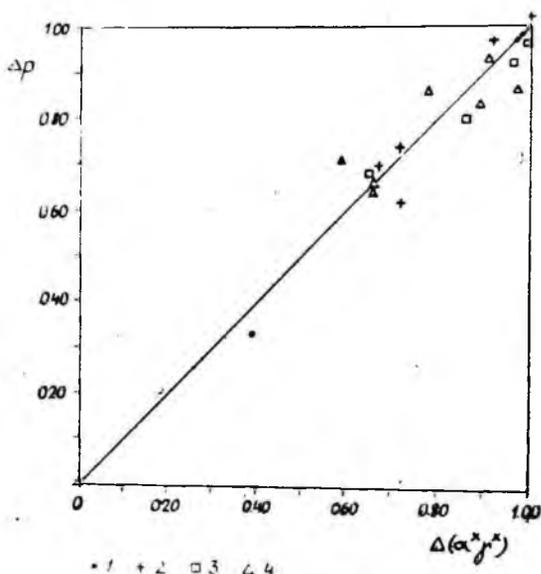


Рис. 3. Предполагаемая линейная связь между $\Delta\rho$ и $\Delta(\alpha^*\gamma^*)$ для калиневых полевых шпатов. Точки на графике — данные из работ:

- 1-Bailey & Taylor, 1955
- 2-Tilling, 1968
- 3-Cerny & Maček, 1974
- 4 — Сендеров, Яськин, 1976.

величину рентгеновской триклинности ($\Delta\rho$), определяемую Гольдшмитом и Лавесом (Goldschmidt & Laves, 1954) по уравнению $\Delta\rho = 12,5 (d_{131} - d_{\bar{1}\bar{3}\bar{1}})$, где d — межплоскостное расстояние выражено в ангстремах. $\Delta\rho$ изменяется в интервале от 0 (моноклинный калишпат) до 1.0. Наблюдаемая связь между $\Delta(\alpha^*\gamma^*)$ в калишпатах линейна (рис. 3.).

Основываясь на интерпретациях Райта и Стюарта (Wright & Stewart, 1974), Мартина (Martin, 1974), можно в щелочных полевых шпатах ход упорядочения и измеряемые этот процесс величины схематически изобразить следующим образом (рис. 4.).

Если исследуемый триклинный калишпат содержит разноупорядоченные участки, определение его триклинности ($\Delta\rho$) затрудняется тем, что вместо двух рефлексов (131) и ($\bar{1}\bar{3}\bar{1}$) возникает ряд отражений, которые часто полностью не разделяются. Тогда удобно отдельные разноупорядоченные фазы

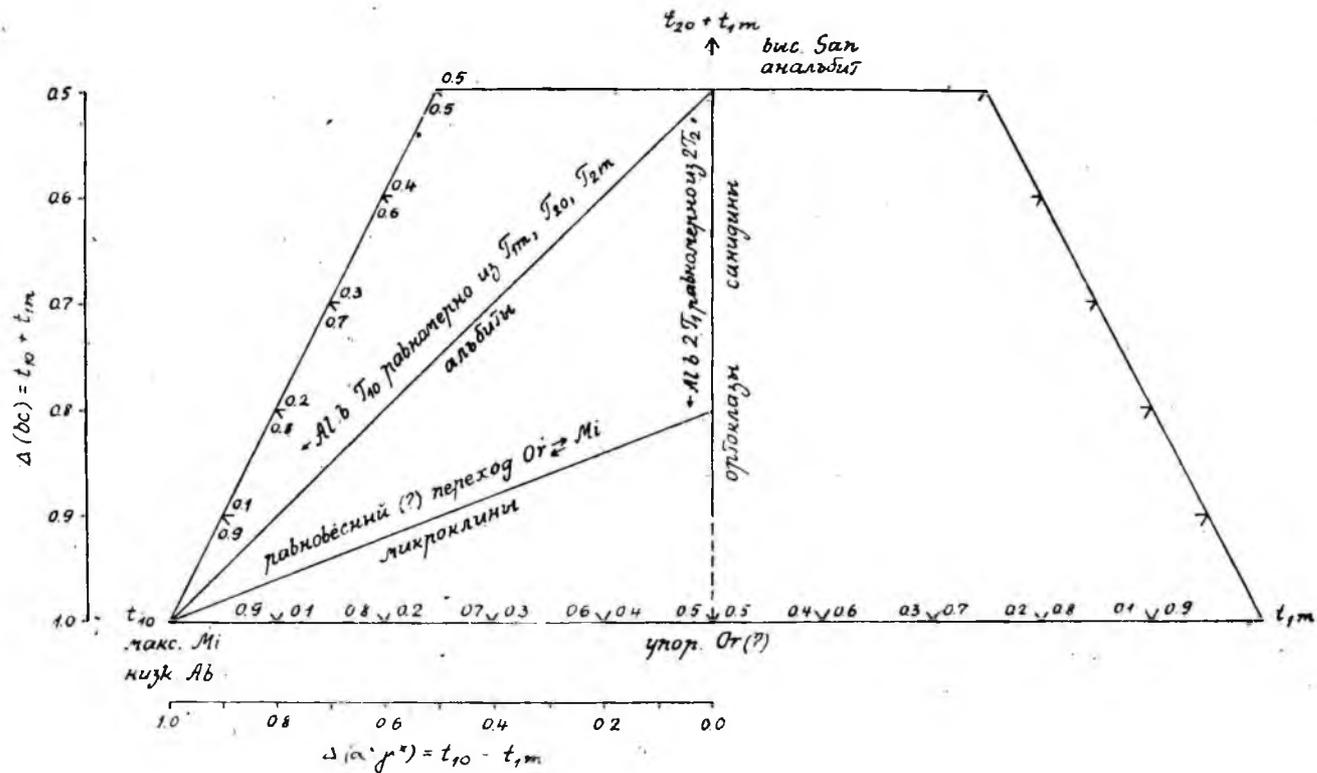


Рис. 4. Графическое представление процессов упорядочения в щелочных полевых шпатах по Стюарту и Райту (Stewart & Wright, 1974). Дополнительно приведены величины $\Delta(bc)$ и $\Delta(a^*\gamma^*)$, измеряемые эти процессы. Выделен гипотетический «упорядоченный ортотлаз» по представлениям Мартина (Martin, 1974).

дешифрировать при помощи графика (рис. 5.), составленного нами по данным Борга, Смита (Borg & Smith, 1969) и Райта, Стюарта (Wright & Stewart, 1968). Притом надо учитывать, что если в пробе присутствует более 5—10% плагиоклаза, рефлекссы его, в свою очередь, усложняют картину. Когда калишпаты представлены смесью разноупорядоченных фаз, то вмес-

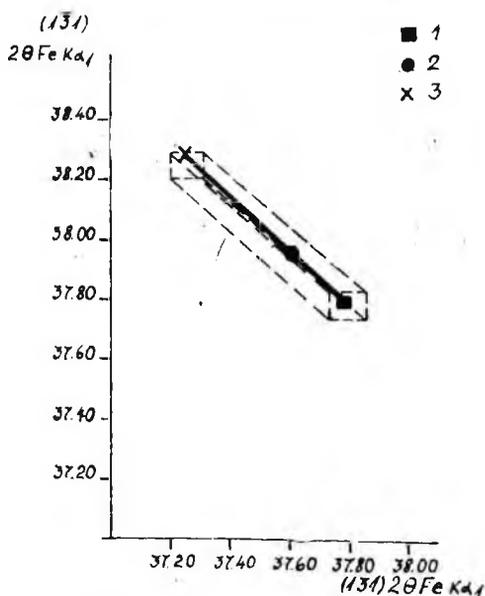


Рис. 5. График для выяснения на дифрактограмме сопряженных (131) и (131) рефлекссов разноупорядоченного калишпата. Сплошная линия: взаимосвязь пиков по расчетным данным Борга и Смита (Borg & Smith, 1969). Пунктир: вариация углов отражения тех же пиков, не выходящая за экспериментальные пределы, приводимые Райтом и Стюартом (Wright & Stewart, 1968).

- 1 — ортоклаз
- 2 — промежуточный микроклин ($\Delta\rho = 0,33$)
- 3 — максимальный микроклин ($\Delta\rho = 0,99$)

то числовых выражений триклинности ($\Delta\rho$) лучше выразить триклинность в виде эмпирически выявленных групп (Tilling, 1968, Vorma, 1971).

II. Оценка содержания Na-фазы

При гомогенном щелочном полевоом шпате удобнее всего определить его Na-содержание по величине угла отражения рефлекса (201) (Bowen & Tuttle, 1952). Мы использовали дан-

ные, приведенные в работе Райта (Wright, 1968, с. 97), по которым был построен нижеприведенный график (рис. 6).

Как показали Райт и Стюарт (Wright & Stewart, 1968, Stewart & Wright, 1974), точки щелочного полевого шпата на графиках $b-c$ и $2\theta_{204} - 2\theta_{060}$ несут информацию о напряжен-

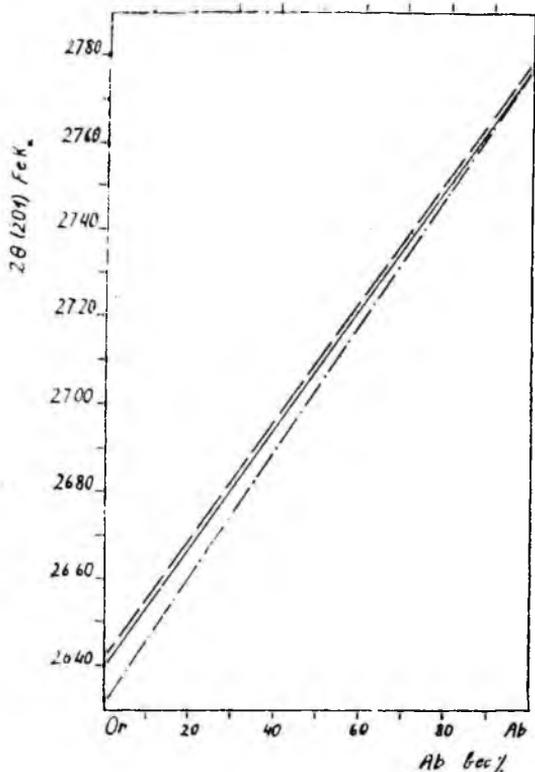


Рис. 6. График для определения Na-содержания (в виде альбитового компонента) гомогенной калишпатовой фазы (Or) по величине $2\theta(201) \text{ FeK}\alpha_1$ (Wright, 1968, табл. 4). Сплошная линия: серия высокий санидин — высокий альбит.

Пунктир: серия максимальный микроклин — низкий альбит. Точечный пунктир: ортоклазовая серия $(t_{10} + t_{1m}) = 0,73$; Stewart & Wright, 1974).

ности состояния полевого шпата. Например, если разница в значениях 2θ рефлексов (201) , полученных по графику (рис. 1.) и измеренных в образце, выше $0,16^\circ 2\theta \text{ FeK}\alpha_{201}$ (Stewart & Wright, 1974 стр. 362), то полевой шпат является заметно на-

пряженным и определением его Na-содержания по $2\theta_{201}$ дает неверные результаты. В этом случае более достоверные результаты дает определение Na по величине объема элементарной ячейки (Stewart & Wright, 1974). По мнению тех же авторов, возникновение в щелочных полевых шпатах такого напряженного состояния связано с распадом твердого раствора на взаимосвязанные пертитовые фазы.

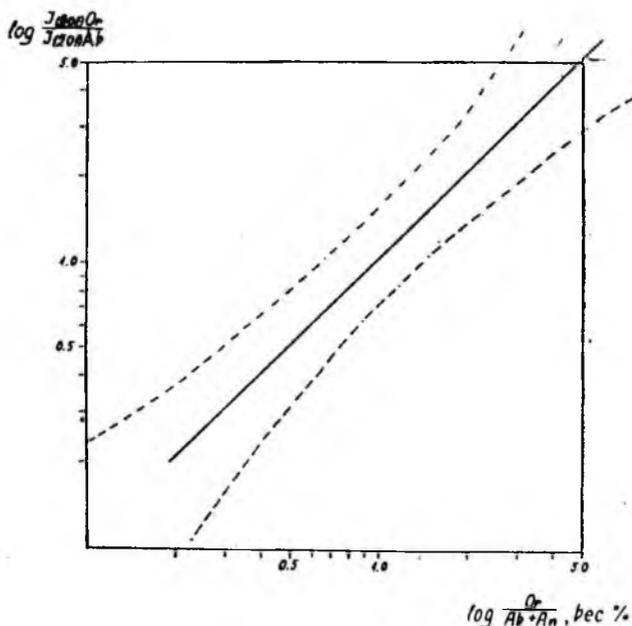


Рис. 7. Диаграмма Кюльмера для определения валового состава пертита, исходя из отношений интенсивностей (201) рефлексов калишпатовой и альбитовой фазы в пертите (Kuellmer, 1960). Уравнение регрессий для построения прямой дано в тексте. Пунктиром ограничен 10%-ный доверительный интервал.

При пертитовом калишпате можно оценить валовое Na-содержание пертита, или измерив рефлекс (201) гомогенизированного калишпата и используя график (рис. 6.), или применив так называемый метод Кюльмера (Kuellmer, 1959, 1960). Хороший пример комплексного использования обеих методик дан в работе Б. Е. Боруцкого (Боруцкий, 1971).

Мы использовали метод Кюльмера. Слабой стороной этого метода является возникающий в полевых шпатах эффект ориентации, который влияет на отношение интенсивностей рефлексов

($\overline{201}$) калишпата и альбита, принятых за основу оценки содержания Na (рис. 7.)³. Для уменьшения этого эффекта пробе во время съемки дают вращаться. Мы исследовали отношения интенсивностей при вращающихся и неподвижных пробах, подготовленных по вышеописанной методике. Практически результаты не отличаются. При проведении фоновой линии и измерении интенсивностей мы руководствовались указаниями Кюльмера (Kuellmer, 1960, с. 309). При нанесении на график Кюльмера химически проанализированных проб выяснилось удовлетворительное совпадение данных, в пределах допустимой точности метода, $\pm 10\%$.

Для оценки степени распада пертита А. С. Марфунин (А. С. Марфунин, 1962) предлагает измерять расстояние 2θ между пиками ($\overline{201}$) калиевой и натриевой фаз пертита.

Исследование плагиоклазов

Так как при изучении плагиоклазов используются не абсолютные значения, а разница значений 2θ рефлексов, можно на хорошо юстированном дифрактометре снять пробы без эталона. Однако для надежной интерпретации отражений мы добавляли к пробам в качестве внутреннего стандарта около 10% кварца⁴.

Подготовка препарата и условия съемки плагиоклазов и калишпатов аналогичны, различны только исследуемые интервалы 2θ . При железном излучении наиболее информативны следующие 2θ интервалы:

- от 36° до 41° — для выяснения разделения рефлексов ($\overline{131}$) и (131) плагиоклаза;
- от 43° до 47° — для определения положения рефлексов ($\overline{241}$) и (241) плагиоклаза;
- от 63° до 67° — для определения положения рефлексов (400), (113), ($\overline{204}$) плагиоклаза.

По разделению рефлексов ($\overline{131}$)—(131), при известном составе плагиоклазов, можно оценить их структурное состояние. Графики оценки опубликованы разными авторами (Stem-

³ Уравнение регрессии для построения кривой: $\log \left(\frac{I_{2\theta_1} \overline{\text{Or}}}{I_{2\theta_1} \overline{\text{Ab}}} \right) = -0,026 + 1,0628 \log \left(\frac{\text{Or}}{\text{Ab} + \text{An}} \right)$. где $\text{Or} + (\text{Ab} + \text{An}) = 100\%$ вес. (Kuellmer, 1960 стр. 321).

⁴ При плагиоклазах № 5—20, рефлекс ($\overline{241}$) плагиоклаза и (110) кварца перекрываются.

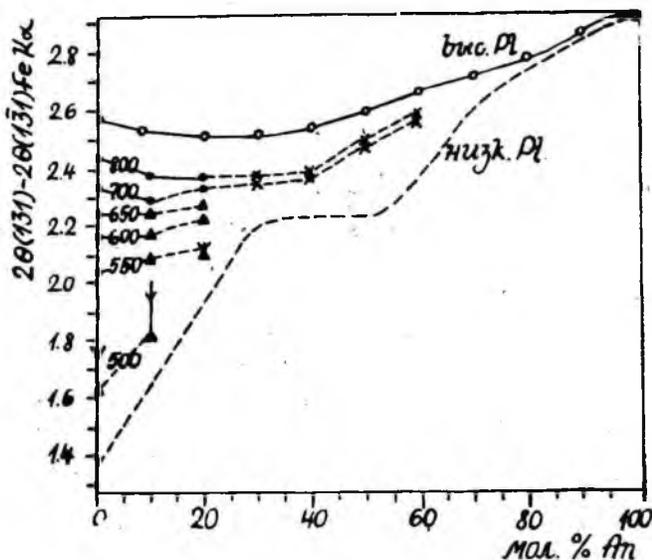


Рис. 8. График для оценки структурного состояния плагиоклазов по Смитту (Smith, 1972). Кривая для высоких плагиоклазов (Pl) построена по данным Кролла (Kroll, 1967). Кривая для низких плагиоклазов построена Смитом по данным из разных источников. Температуры равновесного гидротермального синтеза (при $P_{H_2O} = 1$ кб) плагиоклазов даны по Эберхарду (Eberhard, 1967). Точки: температуры равновесного синтеза. Треугольники: экстраполяция температур на бесконечное время. Стрелки: экстраполяция температур образования для состава Ap_0 , Ap_{10} , Ap_{20} на бесконечное время, исходя из наиболее низкой температуры синтеза, полученных в ходе эксперимента. Крестики: предполагаемое Эберхардом равновесное (?) состояние.

mons, 1962, Vambauer et al., 1967 и др.), в наиболее обобщенном виде — Смитом (J. V. Smith, 1972) (рис. 8). Поле между высоким и низким плагиоклазом иногда разделяют на десять равных частей, и приписывая высоким плагиоклазам значенные 0, низким 100, можно охарактеризовать структурное состояние плагиоклаза при помощи полученного таким образом индекса упорядочения (\bar{u}) (Каменцев, Блюмштейн, 1974). Рефлексы (131) и $(\bar{1}\bar{3}1)$ благодаря своей высокой чувствительности наиболее пригодны для определения структурного состояния плагиоклаза.

Упорядоченность плагиоклазов можно оценить и исходя из разделения рефлексов $(\bar{2}41)$ — (241) (Vambauer et al., 1967). Пары рефлексов $(\bar{1}\bar{3}1)$ — (131) и $(\bar{2}41)$ — (241) также дают возможность грубо оценить номер плагиоклаза и содержание в нем калишпатового компонента (рис. 9.) (Vambauer et al., 1967; Harnik, 1969).

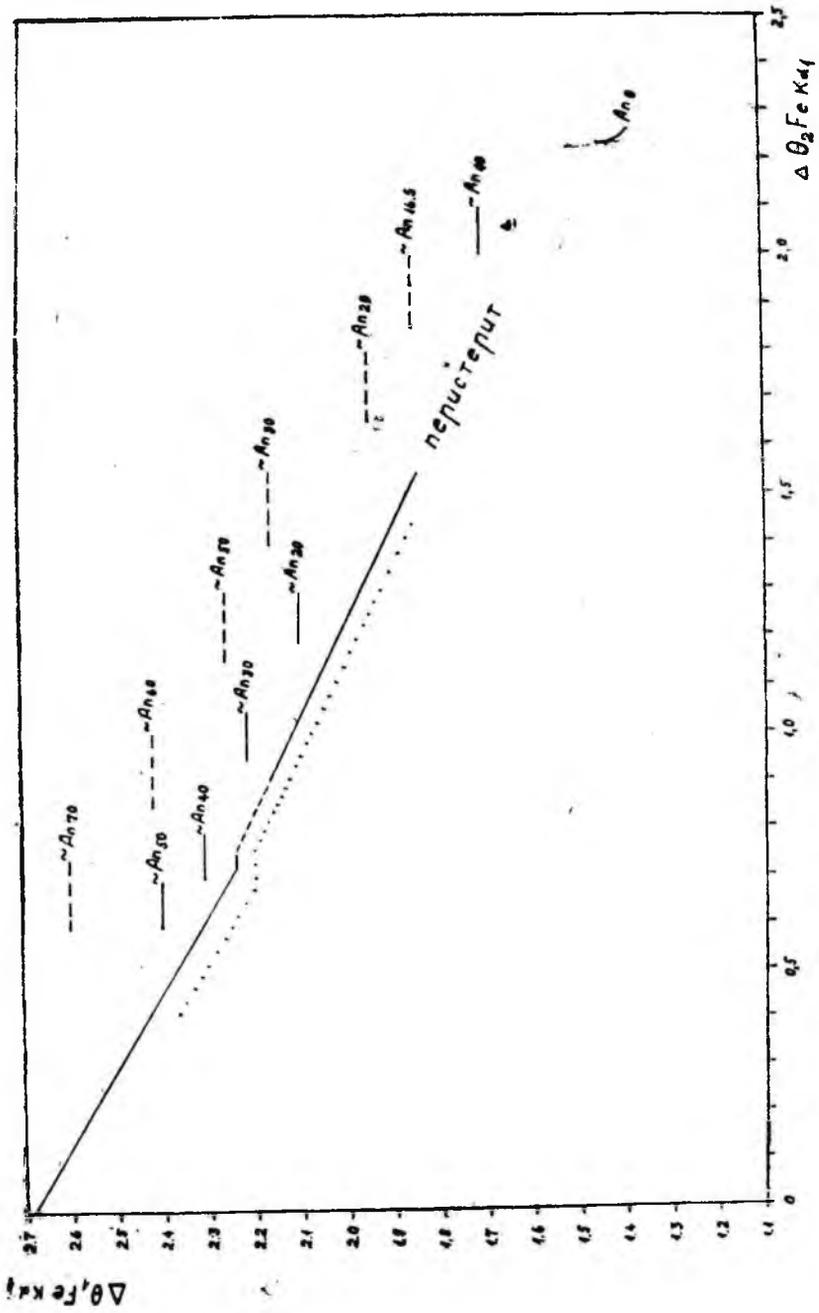


Рис. 9.

И. Е. Каменцев и Э. И. Блюмштейн (1974) предлагают для определения состава плагиоклаза использовать либо пару рефлексов $(204) - (113)$, либо пару $(204) - (400)$. По разнице $2\theta(204) - 2\theta(113)$ можно приблизительно определить состав любого плагиоклаза, независимо от его структурного состояния. При определении 2θ с точностью $0,01^\circ$, точность отсчета аноритового компонента плагиноклазов по графику $2\theta \overline{204} - 113$ составляет по авторам 3—4 номера.

Для рентгеновского определения состава плагиноклазов нами применялась г. о. диаграмма Бамбауера и др. (Bambauer et al., 1967), которая дала результаты, отличающиеся от иммерсионных определений состава плагиноклазов не больше чем на 4—5 номеров.

В 1972—1975 г. вышеописанные методы были применены при изучении полевых шпатов из Выборгского и Салминского плутона рапакиви.

ЛИТЕРАТУРА

- Боруцкий Б. Е. 1971. Химический состав и структурное состояние щелочных полевых шпатов из нефелиновых снейтов Хибинского массива. В кн.: Вопросы однородности и неоднородности минералов. М., «Наука».
- Каменцев И. Е. 1970. Использование кварца как эталона при рентгеновских исследованиях и точность определения параметров его элементарной ячейки. Рентгенография минерального сырья. Сб. 7.
- Каменцев И. Е., Блюмштейн Э. И. 1974. Рентгеновское определение состава и Al-Si упорядоченности плагиноклазов. В кн.: Кристаллохимия и структура минералов. Л., «Наука».
- Марфуниин А. С. 1962. Полевые шпаты — фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологическое распределение. — Труды ИГЕМ, вып. 78.
- Сендеров Э. Э., Яськин Г. М. 1976. О стабильности моноклинных полевых шпатов. — «Геохимия», № 7.
- Утсал К. Р. 1971. О технике и методике исследования глинистых минералов рентгеновскими методами. — Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 286. Труды по геологии VI, Тарту.

Рис. 9. График Бамбауера для грубой оценки состава плагиноклазов по разности углов отражения рефлексов (Bambauer et al., 1967) $\Delta\theta_1(\text{FeK}\alpha_1) = 2\theta_{131} - 2\theta_{131}$ и $\Delta\theta_2(\text{FeK}\alpha_1) = 2\theta_{241} - 2\theta_{241}$.

Сплошная прямая — функциональная зависимость между $\Delta\theta_1$ и $\Delta\theta_2$ для плагиноклазов с калишпатовым компонентом меньше 0,5—0,8 мол. %.

Точечная прямая — та же для плагиноклазов с калишпатовым компонентом 4 мол. %.

Отмечены составы плагиноклазов:

сплошной линией для упорядоченных (Bambauer et al, 1968)

пунктиром для промежуточных (Harnik, 1969).

- Bailey, S. W. & Taylor, W. H. 1955. The structure of a triclinic potassium feldspar. *Acta Crystallogr.* 8.
- Bambauer, H. U. et al. 1967. Diagrams for the determination of plagioclases using X-ray powdered methods. *Schweiz. mineral-petrogr. Mitt.* Bd. 47, H. 1.
- Borg, I. V., and Smith, D. K. 1969. Calculated powder patterns: Part II. Six potassium feldspar. *Amer. Miner.* Vol. 54, No. 1—2.
- Bowen, N. L., and Tuttle, O. F. 1950. The system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ — KAlSi_3O_8 — H_2O . *Jour. Geol.* Vol. 58, No. 5.
- Cerny, P., and Maček, J. 1974. Petrology of potassium feldspars in two-lithium bearing pegmatites. *Feldspars. Proc. NATO Adv. Study Inst., Manchester, 1972.* Manchester Univ. Press.
- Goldsmith, J. R., and Laver, F. 1954. The microcline-sanidine stability relations. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* Vol. 5, No. 1.
- Eberhard, E. 1967. Zur Synthese der Plagioklase. *Schweizer. mineral-petrogr. Mitt.* Bd. 47.
- Harnik, A. B. 1969. Anorthoklase der Rhombenporphyre des Oslogebietes. *Schweizer. Mineral-petrogr. Mitt.* Bd. 49, H. 3.
- Kroll, H. 1967. Untersuchungen an synthetischen Hoch-Temperatur-Plagioklasen. Diplom-Arbeit, Inst. Min. Univ. Münster, BRD.
- Kuellmer, F. J. 1959. X-ray intensity measurements on perthitic materials I. Theoretical considerations. *Journ. Geol.* Vol. 67, No. 6.
- Kuellmer, F. J. 1960. X-ray intensity measurements on perthitic materials II. Data from natural alkali feldspars. *Journ. Geol.* Vol. 68, No. 3.
- Laves, F. 1960. Al/Si — Verteilungen, Phasen-Transformationen und Namen der Alkalifeldspäte. *Z. Krist.,* 113 (Laue Vol. 117).
- Martin, R. F. 1974. Controls of ordering and subsolidus phase relations in the alkali feldspars. *Feldspars. Proc. NATO Adv. Study Inst., Manchester, 1972.* Manchester Univ. Press.
- Megaw, H. D. 1959. Order and disorder in the feldspars, I. *Mineral. Mag.,* Vol. 32, No. 246.
- Orville, P. M. 1967. Unit-cell parameters of the microcline-low albite and the sanidine-high solid solution series. *Amer. Miner.* Vol. 52, No. 1—2.
- Smith, J. V. 1972. Critical review of synthesis and occurrence of plagioclase feldspars and a possible phase diagram. *Journ. Geol.* Vol. 80, No. 5.
- Stewart, D. B., and Ribbe, P. H. 1969. Structural explanation for variations in cell parameters of alkali feldspar with Al/Si ordering. *Am. Journ. Sci., Schairer Vol.* 267-A.
- Stewart, D. B., and Wright, T. L. 1974. Al/Si order and symmetry of natural alkali feldspars, and the relationship of strained parameters to bulk composition. *Bull. Soc. for Mineral. Cristallogr.* T 97.
- Taylor, W. H. 1962. The structures of the principal feldspars. *Norsk. Geol. Tidsskr.* Vol. 42, II (Feldspar. Vol.).
- Tilling, R. J. 1968. Zonal distribution of variations in structural state of alkali feldspar within the Rader Creek Pluton, Boulder Batholith, Montana. *Journ. of Petrol.* Vol. 9, No. 3.
- Vorma, A. 1971. Alkali feldspars of the Wiborg rapakivi massif in south-eastern Finland. *Bull. Commis. Geol. Finlande.* No. 246.
- Wright, T. L. and Stewart, D. B. 1968. X-ray and optical study of alkali feldspar. I. Determination of composition and structural state from refined unit-cell parameters and 2 Θ . *Amer. Miner.* Vol. 53, No. 1—2.
- Wright, T. L. 1968. X-ray and optical study of alkali feldspar: II. An x-ray method for determining the composition and structural state from measurement of 2 Θ values for three reflections. *Amer. Miner.* Vol. 53, No. 1—2.

INVESTIGATION OF FELDSPARS BY THE X-RAY POWDER METHOD

J. Kirs, K. Utsal

Summary

The methods of preparing and investigating feldspar powder probes under a diffractometer are discussed. The more informative diffraction peak intervals of feldspars are presented using iron radiation.

The structural state of alkali feldspars can be estimated from 2θ values of the (060), ($\bar{2}$ 04), ($\bar{2}$ 01) diffraction peaks by using Stewart & Wrights plot (1974) and by calculating the oblique values from 2θ (131), ($\bar{1}$ 31) diffraction peaks. The sodic composition of alkali feldspar can be estimated from intensity and 2θ ($\bar{2}$ 01) diffraction peaks.

The structural state and the approximate composition of plagioclases can be estimated from 2θ values of the (131), ($\bar{1}$ 31), ($\bar{2}$ 41), (241), (400), (113), (204) diffraction peaks by using diagrams compiled by Smith (1972), Vambauer et al. (1967) and Kamentsev & Blumshtein (Каменцев, Блюмштейн, 1974).