

**ПРОВОДИМОСТЬ И АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ
КАЛИШПАТИЗИРОВАННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ИНТРУЗИВНЫХ
МАССИВОВ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ**

В. Н. САЛЬНИКОВ, А. Ф. КОРОБЕЙНИКОВ

(Представлена научным семинаром отдела ФГП НИИ РФ)

Исследовалась температурная зависимость электропроводности горных пород Коммунарковского рудного поля для оценки роли накопления продуктов распада K^{40} в кристаллической решетке калийсодержащих минералов, дающих информацию о возрасте калий-аргоновым методом и методом удельной электропроводности. Рассматривается механизм возможного изменения химического состава породообразующих минералов, содержащих калий как результат высвобождения из связей в кристаллической решетке части ионов Si^{+4} , Al^{+3} и образование новых энергетически выгодных соединений. Методом электропроводности определен абсолютный возраст горных пород Солгонского, Бельского, Андатского и Случайнинского массивов.

Нарушение радиогенного равновесия в минералах и породах обусловлено многими первичными и вторичными процессами и в зависимости от характера этих процессов возникают накопления возрастной информации. В подавляющем большинстве породы не несут следов видимого изменения, а если изменения и отмечаются, то они незначительны [3]. Возраст пород, подвергшихся наложенным геологическим процессам, отражает время протекания метаморфического процесса. Поэтому несоответствие значений возраста геологическим данным, вследствие «омоложения» горных пород, не несущих видимых следов изменения, связывают также с воздействием процессов метаморфизма. Влияние термометаморфизма на изменение химического состава минералов в течение геологического времени можно упрощенно воспроизводить в лабораторных условиях, используя вакуумную печь, а физико-химические превращения регистрировать, измеряя значения электропроводности соединения в процессе нагрева и охлаждения [1, 4].

Образец горной породы в виде пластинки $20 \times 20 \times 3$ мм нагревался линейно со скоростью 10° в минуту от 20 до $1100^\circ C$ с последующим охлаждением. В процессе нагрева и охлаждения измерялась удельная электропроводность при постоянно приложенном напряжении $20-50$ в. Электропроводность была исследована у 47 проб с повышенным содержанием калия для определения абсолютного возраста интрузивных массивов и роли калиевого метасоматоза. Из каждого образца были вырезаны три пластинки и измерена их удельная электропроводность в зависимости от температуры. За значение электропроводности бралось арифметическое среднее, которое при $970^\circ C$ в вакууме для одинакового состава пород, отобранных из различных точек, меняется на $2-15\%$. При

Таблица 1

Абсолютный возраст горных пород по электропроводности

Номер проб	Наименование горной породы	Место отбора	$\sigma_{0,1} \cdot 10^{-11} \text{ ММ}^{-1}$ с поправками на Fe+2, Si+4, K+1	τ мл. лет
538	Пегматит	Пегматитовый шток. Сорское месторождение	$2,5 \cdot 10^{-8}$	506
523-П	Пегматитовые жилы среди известняков	Правый борт р. Попутная Ивановка	$4,2 \cdot 10^{-8}$	300
508-П	Пегматитовые жилы среди диоритов	Канавка 282, Попутная Ивановка	$2,5 \cdot 10^{-8}$	510 ± 5
Б-1	Плагиоклазкалишпатовая порода из краевой части массива	Случайнинский массив	$2,6 \cdot 10^{-8}$	495 ± 5
Б-16	Пегматит из калишпатового прожилка	Андатский массив, жила «Майская»	$3,8 \cdot 10^{-8}$	340
Б-15	Кварц - калишпатовый прожилок	Андатский массив, жила «Майская»	$3,1 \cdot 10^{-8}$	380
501-С	Кварцевый диорит	Солгонский массив	$2,0 \cdot 10^{-8}$	700
501-С1	Калишпатизированный диорит (монцонит)	Солгонский массив	$3,8 \cdot 10^{-8}$	315 ± 5
503-С	Аплит	Солгонский массив	$4,0 \cdot 10^{-8}$	305 ± 5
504-С	Аплит	Солгонский массив	$3,5 \cdot 10^{-8}$	340
020-19 МГЗ 505-С	Пегматитовый прожилок Калишпатизированный диорит (монцонит)	Солгонский массив Солгонский массив	$4,1 \cdot 10^{-8}$	295 ± 5
339 ^б	Аплит	Бельский массив	$3,1 \cdot 10^{-8}$	380
2-69-1	Калишпатизированный диорит	Бельский массив (южная часть)	$4,2 \cdot 10^{-8}$	300
2-69-2	Монцонит	Бельский массив (южная часть)	$5,9 \cdot 10^{-8}$	240 ± 10
1-69-2	Аплит с реликтами роговой обманки	Бельский массив (восточная часть, истоки р. Каменного)	$6,3 \cdot 10^{-8}$	230 ± 10
1-69-1	Монцонит	Там же	$9,4 \cdot 10^{-8}$	180 ± 10
3-69-1	Монцонит	Вершина Бельского гольца	$9,0 \cdot 10^{-8}$	190 ± 10
5-69-1	Монцонит	Северо - западная часть Бельского массива	$6,6 \cdot 10^{-8}$	210 ± 10
550	Натровый аплит (пегматоид)	Кедровский массив	$1,05 \cdot 10^{-7}$	170 ± 10
546	Порфирированный гранит	Вершина Изык Чула	$2,2 \cdot 10^{-8}$	610
549	Сиенито - диорит (калишпатизированный диорит)	Малособакинский массив	$4,1 \cdot 10^{-8}$	295 ± 5
			$3,4 \cdot 10^{-8}$	380

атмосферном давлении и температуре 20° С электропроводность зависит от содержания влаги, количества других механических примесей, поэтому разница ее значений от образца к образцу достигает 1—2-х порядков.

Абсолютный возраст был определен по кривой зависимости электропроводности от времени, построенной по эталонным образцам. Значение электропроводности бралось с поправками на K^{+1} , Si^{+4} , Fe^{+2} . Несмотря на предварительную обработку данных, получена интересная закономерность при сравнении значений абсолютного возраста интрузивных массивов. Полученный возраст кварцевых диоритов Солгонского массива 700 млн. лет, а калишпатизированных диоритов и аплитов — 315—380 и 305—540 соответственно. Пегматитовые жилы Андатского массива имеют возраст 340—380 млн. лет. Плагноклаз калишпатовая порода из Случайнинского массива дала возраст 450 млн. лет. Пегматитовые жилы среди диоритов (канавы 282, Попутная Ивановка) имеют возраст 510 млн. лет, а среди известняков 300 млн. лет. Малые значения возраста получены для пород Бельского массива от 180 до 240 млн. лет для монцитов и 300 млн. лет для аплитов. Абсолютный возраст неизменных горных пород, определяемый методом электропроводности, близок к значению в литературе. Возраст в пределах 180—380 млн. лет, вероятно, характеризует этапы формирования аплитовых тел, калиевого метасоматоза и образование во вмещающих толщах девонских пегматитов. Из табл. 1 видно, что породы, подвергшиеся щелочному метасоматозу, резко различаются по электропроводности от исходных интрузивных пород.

Рассмотрим механизм изменений электропроводности горных пород в течение геологического времени. Обычно в диэлектриках в области собственной проводимости зависимость удельной электропроводности от абсолютной температуры T описывается уравнением:

$$\sigma = Ae^{-\frac{E_w}{kT}}$$

где

A — постоянная, зависящая от концентраций носителей заряда и мало зависящая от температуры;

E_w — энергия активации процесса электропроводности (энергия, необходимая для образования и дрейфа в направлении поля носителей заряда);

k — постоянная Больцмана.

График этой функции в системе координат $\lg \sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$ имеет линейный характер при условии $E_w = const$ и $A = const$. Для наших объектов, представляющих собою сложные гетерогенные системы, температурные зависимости электропроводности достаточно сложны. На кривых наблюдаются наклонные и горизонтальные отрезки, обусловленные полиморфными превращениями минералов, и участки с максимумами и минимумами электропроводности, связанные с эндотермическими или экзотермическими процессами (кривые ДТА, рис. 1).

Если $E = const$, $A = const$, а при полиморфных превращениях T_1 образца тоже $const$, то количество носителей тока будет постоянно, поэтому изменение электропроводности в данный момент времени не должно наблюдаться. Но так как теплоемкость образца больше теплоемкости электрода, на котором находится образец, а термopара непосредственно не измеряет температуру образца, а измеряет температуру электрода, на графике зависимости $\lg \sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$ получается ряд горизонтальных прямых участков, характеризующих время и начальную температуру полиморфных превращений минералов, входящих в состав горных пород.

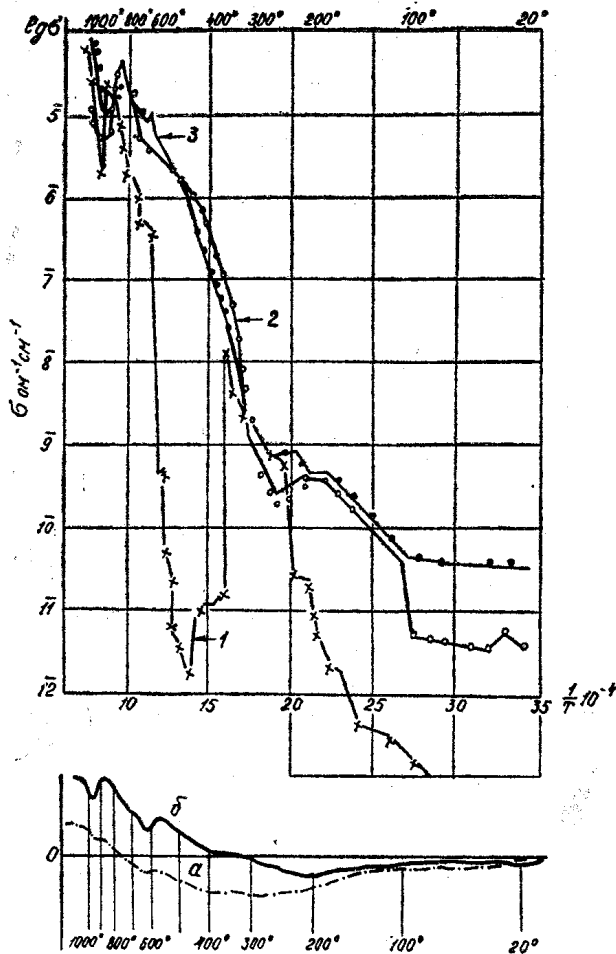


Рис. 1. Температурная зависимость проводимости для горных пород с кривыми ДТА. Кривые зависимости σ от $f\left(\frac{1}{T}\right)$ (1, 2, 3) и термограммы (а, б) (1; а) — обр. 1-69-2, 2 — обр. 339^б, (3; б) — обр. 1-69-1.

Если $E_w = const$, $A = const$, а T_2 образца уменьшается в результате эндотермического эффекта, то при наших условиях эксперимента на кривой зависимости $lg\sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$ получим уменьшение электропроводности со временем. Часто происходит поляризация образцов, содержащих слюду, калиевый полевой шпат за счет ослабления первичной связи части ионов K^+ , Si^{+4} , O^{-2} или заряжения в результате расширения кристалла при полиморфных превращениях (пьезоэффект). Поэтому электропроводность фиксируется прибором по остаточному току, который не соответствует истинному значению. Это несоответствие вызвано влиянием электродвижущей силы поляризации (P), направленной противоположно внешнему полю [рис. 1, кривая 1].

При температуре 970—1040°С происходит полное высвобождение ионов Si^{+4} из кремне-кислородных тетраэдров и соединение их с ионами кислорода, что ведет к образованию кварца и анортитовой молекулы в структуре к.п.ш. и слюды.

Одной из причин изменения химического состава горных пород является β -распад K^{40} и замена его в кристаллической решетке калий-

содержащих минералов на Ca^{40} , что приводит к накоплению положительных вакансий, которые впоследствии образуют узловые комплексы с ионами гидроксидов, фтора, или нейтральность кристалла сохраняется за счет восстановления трехвалентного железа, изоморфно входящего в кристаллическую решетку. Отсюда количество узловых вакантных комплексов в решетке минералов будет зависеть от времени и содержания калия, а количество сохраненной информации об абсолютном возрасте объекта — от истории образца [5].

Расчеты показывают, что при нагревании до 1040°C 1 см^3 к. п. ш., имеющего возраст три миллиарда лет, энергия кристаллической решетки за счет образования анортитовых молекул понижается на 304 дж. Следовательно, замена K^{40} на Ca^{40} в результате β -распада должна была бы привести к образованию новой молекулы в структуре минерала, если бы были бы нарушены химические связи в кремнекислородных тетраэдрах калиевого полевого шпата или мусковита. Эти связи могут быть нарушены при плавлении минерала или частично ослаблены при нагревании соединения, когда будет сообщена энергия E_w , необходимая для образования и дрейфа собственного иона кристаллической решетки. Ослабление связей ведет к повышенной миграции аргона и потери его минералами в зоне метаморфизма, а частичное образование кварца и анортита по предлагаемой схеме не ведет к нарушению информации, дающей значение абсолютного возраста методом электропроводности.

Из изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Определяя абсолютный возраст горных пород методом электропроводности, можно фиксировать этапы развития интрузивных массивов в течение геологического времени.

2. Бельский интрузивный массив, имеющий самые низкие значения возраста, вероятно, кроме калиевого метасоматоза в девоне, претерпел на границе палеозоя с мезозоем вторичный разогрев, приведший к образованию гранофиоров.

3. Моделируя процесс метаморфизма в лабораторных условиях, можно объяснить те незначительные изменения в минералах и горных породах, которые приводят к несоответствию значений возраста геологическим данным.

4. Количественно определяя значение поляризации и эндотермического эффекта в интервале температур $870\text{—}1040^\circ\text{C}$, можно судить об интенсивности метаморфизма, в результате которого часть высвобожденных ионов кремния, алюминия и кислорода образовали кварцевые и анортитовые молекулы, а оставшаяся часть ионов может освободиться с образованием соответствующих соединений при нагреве образца в ячейке.

5. В пределах подвижных геосинклинальных зон с активной магматической и тектонической деятельностью потеря аргона и образование кварца и анортита происходят в горных породах одновременно, так как и тот, и другой процессы обусловлены ослаблением связей кристаллической решетки минералов, но потеря аргона ведет к занижению значений при определении абсолютного возраста калий-аргоновым методом, а частичное образование кварца и анортита существенно не сказывается на показаниях возраста методом электропроводности.

6. На точность определения абсолютного возраста методом электропроводности будет влиять метасоматический привнос отдельных компонентов с ионами Si^{+4} , Al^{+3} , K^{+1} , Fe^{+2} , а также механическое разрушение кристаллической решетки, способствующее обмену катионов в кремнекислородных тетраэдрах.

7. Образование в течение геологического времени молекулы более основного плагиоклаза, освобождение Si^{+4} и соединение его с O_2 с обра-

зованием SiO_2 дает нам еще один механизм разделения магмы на кислую и основную в результате радиоактивного распада K^{40} . С этой точки зрения можно объяснить образование гранофилов Бельского массива и явления метаморфического окварцевания.

8. В дальнейшем усовершенствование метода электропроводности горных пород позволит применить его для выяснения относительной (и возможно абсолютной) последовательности протекания постмагматических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Г. Берг. Введение в термографию. М., 1961.
 2. У. Брегг, Г. Кларингбулл. Кристаллическая структура минералов. М., 1967.
 3. В. М. Кляровский. Определение возраста геологических образований. Новосибирск, 1960.
 4. Е. К. Завадовская, М. Н. Трескина. Измерение электропроводности твердых диэлектриков в широком интервале температур. «Заводская лаборатория», 1961, № 5.
 5. В. Н. Сальников, А. Ф. Коробейников. Определение абсолютного возраста горных пород методом электропроводности. В сб.: Вопросы геологии Сибири. Томск, 1971.
-