

6  
А-39

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

---

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
ядерной геофизики и геохимии

На правах рукописи

А. Р. БИГАЕВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙТРОННО-  
АКТИВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ  
ИССЛЕДОВАНИЯ В КАЛИЙ-АРГОНОВОЙ  
ГЕОХРОНОМЕТРИИ

(Специальность 01.051 — Геофизика)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва — 1970



МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

---

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
ядерной геофизики и геохимии

На правах рукописи

А. Р. БИГАЕВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙТРОННО-  
АКТИВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ  
ИССЛЕДОВАНИЯ В КАЛИЙ-АРГОНОВОЙ  
ГЕОХРОНОМЕТРИИ

(Специальность 01.051 — Геофизика)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва — 1970



СК  
6  
А 309

Работа выполнена в лаборатории абсолютного возраста магматических формаций Института геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева АН УзССР и лаборатории активационного анализа Института ядерной физики АН УзССР.

**Научные руководители:**

член-корр. АН БССР, доктор физико-математических наук, профессор **Е. М. Лобанов**,  
член-корр. АН УзССР, доктор геолого-минералогических наук, профессор **И. Х. Хамрабаев**.

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук **Д. И. Лейпунская**,  
кандидат геолого-минералогических наук **В. С. Лебедев**,  
Ведущее предприятие — Геологический Институт АН ГрузССР.

Автореферат разослан « *20* » *января* 1971 г.

Защита диссертации состоится «        » *марта* 1971 г.

на заседании Ученого Совета по присуждению ученых степеней по техническим наукам Всесоюзного научно-исследовательского института ядерной геофизики и геохимии (ВНИИЯГГ) Министерства геологии СССР. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат просим присылать в 2 экземплярах по адресу: Москва, М-105, Варшавское шоссе, 8, тел. 234-51-31.

Ученый секретарь Совета  
кандидат технических наук

(С. И. Савосин)

Из существующих радиоактивных, или радиологических, методов определения абсолютного возраста геологических образований калий-аргоновый метод является наиболее распространенным и доступным для массового применения. Это объясняется, в частности, широкой распространенностью калийсодержащих минералов, относительной простотой процессов анализа, а также хорошей сходимостью результатов определений с геологически устанавливаемым возрастом.

В основе калий-аргонового метода определения абсолютного возраста лежит положение о пропорциональности времени ( $t$ ) количеству  $Ar^{40}$ , накопившемуся в минерале или породе со времени его кристаллизации в результате радиоактивного распада ядер  $K^{40}$ . По данным определения содержания  $Ar^{40}$  и  $K$  в анализируемой пробе величина искомого возраста вычисляется по формуле

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left( \frac{\lambda}{\lambda_k \cdot \Theta} \frac{Ar^{40}}{K} + 1 \right) = f(Ar^{40}, K), \quad (1)$$

где  $\lambda = \lambda_k + \lambda_\beta$  — сумма констант  $k$  — захвата  $\lambda_k$  и  $\beta$  — распада  $\lambda_\beta$  ядра  $K^{40}$ ,

$\Theta$  — распространенность  $K^{40}$  в естественной смеси изотопов калия.

Величина случайной ошибки для функции нескольких переменных, как известно, характеризуется среднеквадратичной ошибкой, определяемой по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{df}{dx_i} \cdot \Delta x_i \right)^2}, \quad (2)$$

Тогда для относительной среднеквадратичной ошибки определения абсолютного возраста калий-аргоновым методом получаем

$$\delta_t = \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda t} \sqrt{\delta_{Ar^{40}}^2 + \delta_K^2} \quad (3)$$

Как видно из этой формулы, величина ошибки при установлении абсолютного возраста зависит от ошибок определения

Центральная научная  
БИБЛИОТЕКА  
Академии наук Киргизской ССР



калия и аргона. Поэтому уточнение и усовершенствование методик определения калия и аргона относится к актуальным проблемам калий-аргоновой геохронометрии.

В данной работе рассматривается использование нейтронно-активационных методов исследования для повышения точности, надежности и производительности анализов, проводимых при калий-аргоновом методе определения абсолютного возраста, и с помощью этого метода устанавливается абсолютный возраст некоторых ранее не датированных вулкано-генных образований, основных и ультраосновных пород Узбекистана. Эти разновидности пород были выбраны для геохронологических исследований в связи с тем, что, во-первых, абсолютная датировка их до настоящего времени почти не проводилась из-за трудностей, связанных с определением малых содержаний калия и аргона в базитах и гипербазитах, а также невозможности выделения мономинеральных фракций из вулканитов; во-вторых, с этими породами связан ряд специфических видов полезных ископаемых (полиметаллические, колчеданные и золотые руды в вулкано-генных породах; хромитовые руды с платиноидами, титаномагнетитовые руды и асбест в основных и ультраосновных породах). Выявление возрастных соотношений пород и руд позволит выявить их генетические связи и в конечном счете сделать прогнозы о местах локализации упомянутых видов полезных ископаемых.

Диссертация состоит из введения и четырех глав. Основной текст содержит 140 страниц машинописи, 26 рисунков, 26 таблиц и список литературы.

В первой главе описывается современное состояние калий-аргонового метода определения абсолютного возраста. Рассматриваются наиболее распространенные методы определения  $Ag$  и  $K$ , точность, преимущества и недостатки этих методов.

Во второй главе с помощью метода меченых атомов исследуется величина потерь аргона в вакуумной системе для выделения его из анализируемой пробы и очистки от посторонних газов.

Использование нейтронно-активационного метода определения содержания калия в образцах горных пород и минералов при радиологическом датировании геологических формаций калий-аргоновым методом описано в третьей главе.

В четвертой главе приводятся результаты определения абсолютного возраста некоторых типов магматических обра-

зований Узбекистана. Рассматриваются проблемы точности определения абсолютного возраста, а также применимость валовых проб вулкано-генных образований для радиологического датирования.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ АРГОНА В ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЕ

В настоящее время наиболее распространены два метода измерения радиогенного аргона, накопившегося в минерале или породе за время их существования, — это объемный метод и метод изотопного разбавления. Эти методы отличаются лишь конечным способом измерения количества радиогенного аргона, выделившегося из анализируемой пробы, и требуют систему для выделения и очистки аргона от посторонних газов. Степень очистки аргона и возможные потери его при этом существенно сказываются на точности определения. В связи с этим в работе исследуются потери аргона в вакуумной системе, предназначенной для его выделения и очистки.

Потери аргона на различных узлах вакуумной системы и стадиях очистки могут быть определены с помощью метода меченых атомов. В качестве индикатора нами использован изотоп  $Ag^{41}$ , с периодом полураспада  $T_{1/2} = 1,8$  часа, обладающий интенсивным высокоэнергетическим  $\gamma$  — излучением ( $E_{\gamma} = 1290$  кэв). Большая проникающая способность  $\gamma$  — излучения с энергией  $E_{\gamma} = 1290$  кэв позволила измерить активность изотопа  $Ag^{41}$ , заключенного в стеклянной ампуле, используя при этом сцинтилляционный детектор с кристаллом  $NaI(Tl)$  с колодцем.

Чтобы максимально приблизиться к реальным условиям анализа, при которых приходится иметь дело с очень малыми содержаниями аргона, необходимое для исследований количество радиоизотопа  $Ag^{41}$  получали, облучая в полиэтиленовом пакете примерно  $0,1—0,5$  см<sup>3</sup> воздуха при нормальном давлении (содержание аргона в воздухе 0,93%), в тепловом канале реактора потоком  $\sim 10^{12}$  нейтрон/см<sup>2</sup>. сек. Мешающее влияние некоторых изотопов, образующихся при этом из других элементов, входящих в состав воздуха, устраняли незначительной выдержкой после облучения и дискриминацией.

Использованная нами установка для исследования потерь аргона аналогична по схеме установке, действующей в лабо-



ратории абсолютного возраста и магматических формаций ИГГ АН УзССР с той лишь разницей, что предусмотрена возможность введения в систему измеренного количества  $Ar^{41}$ . На этой установке были исследованы полнота процессов сорбции и десорбции аргона активированным углем, возможные потери аргона при откачке гелия из системы, потери на стенках вакуумной системы, на ловушке с жидким азотом (кислородом), в кварцевом реакторе при  $t=1300^{\circ}C$ , на поглотителях: окиси меди, металлическом кальции и вольфрамовой нити накала. Результаты исследований сведены в таблицу 1, из которой видно, что величина потерь незначительна и может не приниматься во внимание за исключением потерь на ловушке с жидким азотом, величина которых пропорциональна рабочей поверхности ловушки и количеству паров воды, выделившихся из пробы.

Использование метода меченых атомов позволило поставить эксперименты с очень малыми количествами аргона,

Таблица 1

Результаты исследования потерь аргона

Характер потерь	Время эксперимента мин.	Потери $(\frac{\Delta N}{N} \cdot 100\%)$
На стенках системы	0; 120; 180	+0,2; -0,1; -0,2
В системе (кварцевый реактор при $t=1300^{\circ}C$ )	10; 60; 120	-0,1; -0,3; +0,2
В системе (ловушка залита жидким азотом)	10; 2; 120	-4,6; -4,0; -4,3
В системе (ловушка залита жидким азотом, реактор при $t=1300^{\circ}C$ )	10; 30; 120	-4,5; -4,3; -4,7
На металлическом кальции ( $t=650-680^{\circ}C$ )	20; 30	+0,3; -0,1
На металлическом кальции ( $t=350^{\circ}C$ )	30	0,2
На окиси меди ( $t=650^{\circ}C$ )	10; 20; 30	+0,1; -0,5; -0,2
На вольфрамовой нити накала	10; 20; 30	+0,1; -0,5; -0,2
Откачка гелия из системы	1; 2; 3; 5; 7; 20	0; -0,4; +0,2; -0,1; +0,3; -0,2
Сорбция $Ar$ активированным углем	5; 10; 20;	-0,3; +0,10; 0
Десорбция $Ar$ активированным углем	5; 10; 20	-1,4; -0,5; 0

близкими к тем, которые выделяются из пробы при определении абсолютного возраста. В этом случае величина потерь соизмерима с первоначально введенным количеством аргона (в нашем случае эти потери составили  $\sim 4\%$  от первоначально взятого количества).

Таким образом, величина потерь аргона в вакуумной системе, предназначенной для его выделения и очистки, незначительна и может не приниматься во внимание (за исключением потерь на ловушке с жидким азотом, которых можно избежать, осушив ловушку и вторично пропустив газы над горячей окисью меди).

Наши выводы по исследованию потерь аргона находятся в согласии с единственной в этой области работой D. R. Cagg и J. L. Kulp (1957), в некоторой мере дополняя и подтверждая полученные этими авторами результаты. В качестве радиоактивного индикатора они использовали изотоп  $Ar^{37}$  и, соответственно, более сложную методику измерения активности с помощью счетчиков внутреннего наполнения.

## НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КАЛИЯ

### 1. Принципиальная возможность нейтронно-активационного метода определения содержания калия в геологических пробах без химического разложения

Широкое разнообразие геологических объектов, используемых в настоящее время для определения абсолютного возраста калий-аргоновым методом, выдвигает проблему измерения содержания калия от 10 до 0,01%. Существующие методы определения (химические, фотометрии пламени, масс-спектрометрический) довольно трудоемки, не дают необходимой точности в области малых содержаний калия и в качестве необходимой операции включают предварительное разложение анализируемой пробы. При этом затрачивается много времени и, как правило, теряется или вносится трудно-контролируемое количество определяемого элемента.

Инструментальный вариант нейтронно-активационного анализа, использованный нами для определения содержания калия, исключает какие-либо химические операции и основан на селективном измерении высокоэнергетического  $\beta$ -излучения изотопа  $K^{42}$ , образовавшегося по реакции  $(n, \gamma)$ . Это становится возможным благодаря различию в ядерно-физических характеристиках элементов, входящих в состав анализируемых проб, а также возможностям измерительной аппаратуры.



Анализ ядерно-физических характеристик всех изотопов, образующихся по реакции ( $n, \gamma$ ), которые, распадаясь, испускают относительно высокоэнергетические  $\beta$ -частицы, показал, что наибольшим пробегом в алюминии обладают  $\beta$ -частицы изотопов  $K^{42}$ ,  $Mn^{56}$ ,  $Ga^{72}$  и  $As^{76}$ . Таким образом, если измерения активности производить с помощью алюминиевого фильтра толщиной 3,9 мм, то удастся полностью исключить мешающее влияние всех остальных изотопов ( $P^{32}$ ,  $Si^{31}$ ,  $Ni^{65}$ ,  $Y^{90}$ ,  $Sb^{122}$ ,  $La^{190}$  и др.) независимо от их содержания в анализируемой пробе и любой анализируемый геологический объект свести к четырех компонентной системе. В этом случае задача сводится к отделению  $\beta$ -активности  $K^{42}$  от  $\beta$ -активности  $Mn^{56}$ ,  $Ga^{72}$ ,  $As^{76}$ .

Активность  $Mn^{56}$ , обладающего значительно меньшим периодом полураспада ( $T_{1/2} = 2,6$  часа), чем изотоп  $K^{42}$  ( $T_{1/2} = 12,5$  часа), легко устраняется выдерживанием образцов после облучения. Время выдержки зависит от соотношения  $Mn/K$  в анализируемом образце. Измеренная после этого активность обусловлена в основном активностью  $K^{42}$ , но возможен незначительный вклад  $Ga^{72}$  и  $As^{76}$ , величина которого зависит от соотношения  $Ga/K$  и  $As/K$  в пробе, которые в большинстве случаев очень малы.

Кроме того, применение алюминиевого фильтра значительно увеличивает селективность измерения  $\beta$ -активности  $K^{42}$  относительно этих элементов. В табл. 2 приведены экспериментально полученные значения коэффициентов ослабления  $\beta$ -излучений изотопов  $K^{42}$ ,  $Mn^{56}$ ,  $Ga^{72}$  и  $As^{76}$  для алюминиевого фильтра толщиной 3,9 мм.

Коэффициенты ослабления

Таблица 2

Радиоактивный изотоп	Коэффициент ослабления L	Отношение $L/L_{K^{42}}$
$K^{42}$	17	1
$Mn^{56}$	140	8,25
$Ga^{72}$	380	22,3
$As^{76}$	125	7,35

По содержанию калия в образцах все исследованные типы пород мы разделили на три группы. К первой группе отнесены ультраосновные породы (серпентиниты, перидотиты, пироксениты и дуниты) с содержаниями калия между сотыми и деся-

тыми долями процента; ко второй группе — основные породы (габбро, диабазы, базальты) с содержаниями калия порядка  $10^{-1}$ —1% и к третьей группе — кислые и средние породы (граниты, диориты и т. п.) с содержанием калия порядка целых процентов. Такое разделение необходимо для правильного выбора режимов облучения и измерения. Эксперименты показали, что для всех исследуемых типов пород  $\beta$ -активность мешающих изотопов, измеренная при толщине алюминиевого фильтра 3,9 мм, после необходимой выдержки (37—40 часов для кислых и средних пород; около 50 часов для ультраосновных), на несколько порядков ниже  $\beta$ -активности калия. Измеренная активность практически почти во всех случаях целиком принадлежит изотопу  $K^{42}$  и только при анализе дунитов вклад  $As^{76}$  может составлять 1—2% при среднем соотношении  $As/K$ , равном  $1,66 \cdot 10^{-3}$ .

## 2. Методика проведения анализа

Методика нейтронно-активационного определения содержания калия состоит в следующем.

Тонкопестротые пробы весом 25 мг (4—6 параллельных навесок) насыпали в полиэтиленовые мешочки размером  $1 \times 1$  см<sup>2</sup>, равномерно распределяли по всей площади внутри мешочка и заваривали. Эталоны калия изготовляли нанесением на полоски обеззоленной фильтровальной бумаги определенного количества раствора с известным содержанием калия и последующим высушиванием их. Затем пробы с эталонами облучали в канале ядерного реактора, выдерживали в течение 1,5—2 дней и измеряли на установке, состоящей из торцового счетчика, пересчетного прибора и высоковольтного стабилизированного источника питания.

Проводили последовательно 2 измерения. При первом измерении между счетчиком и пробой помещали алюминиевый фильтр толщиной 3,9 мм. При этом интенсивность зарегистрированного излучения соответствовала суммарной интенсивности  $\beta$ -излучения  $K^{42}$  и  $\gamma$ -излучения всех радиоактивных изотопов, присутствующих в пробе. Добавив еще один алюминиевый фильтр толщиной 5,5 мм и доведя общую толщину фильтра до 9,4 мм, проводили 2-е измерение. Такой слой алюминия поглощает все  $\beta$ -частицы и регистрируемая счетчиком активность соответствует интенсивности только  $\gamma$ -излучения пробы. Тогда для интенсивности  $\beta$ -излучения  $K^{42}$  можно записать  $J_{\beta} = J_{\beta+\gamma} + K J_{\gamma}$ , где  $K$  — эффективный коэффициент ослабления  $\gamma$ -излучения пробы в слое алюминия 5,5 мм. Как показали



экспериментальные исследования, коэффициент К для всех рассматриваемых нами типов пород одинаков и равен 1,21. Это объясняется тем, что во всех случаях  $\gamma$ -излучение пробы обусловлено преимущественно излучением  $\text{Na}^{24}$ .

Проделав аналогичные измерения для образцов и эталона, содержание калия рассчитываем по формуле

$$C = m_{\text{эт}} \frac{J_{\beta \text{ обр}} \cdot 100}{J_{\beta \text{ эт}} \cdot P_{\text{обр}}} \%$$

где  $m_{\text{эт}}$  — содержание калия в эталоне, г,  
 $P_{\text{обр}}$  — величина навески анализируемой пробы, г.

### 3. Идентификация изотопов $\text{K}^{42}$ и $\text{Na}^{24}$ в анализируемых пробах. Точность и воспроизводимость метода

При отработке методики была произведена идентификация  $\text{K}^{42}$  и  $\text{Na}^{24}$  по периоду полураспада во всех исследуемых нами типах проб. Результаты измерения  $\beta$ - и  $\gamma$ -активностей проб в течение 36 часов с интервалами в 6—10 часов после 1,5-дневной выдержки показали, что изменения их интенсивностей со временем соответствуют спаду активности изотопов  $\text{K}^{42}$  ( $T_{1/2} = 12—12,5$  часа) и  $\text{Na}^{24}$  ( $T_{1/2} = 14,6$  часа). Проведенные эксперименты подтверждают возможность вполне однозначного определения калия и натрия одновременно во всех исследуемых пробах, в том числе серпентинитах и пироксенитах, без химического разложения проб и выделения К и Na.

Экспериментально была проверена также возможность селективного измерения  $\beta$ -активности  $\text{K}^{42}$  при различном соотношении Na/K в образце. Искусственно приготовленные пробы с соотношением Na/K от 0 до 10 одновременно были облучены в канале реактора. Активности этих проб измерены в идентичных условиях при толщине алюминиевых фильтров 3,9 и 9,4 мм. Результаты измерений приведены в табл. 3.

Из таблицы видно, что селективность измерения  $\beta$ -активности изотопа  $\text{K}^{42}$  на фоне активности  $\text{Na}^{24}$  исключительно высока. Даже 10-кратное превышение содержания Na не оказывает никакого мешающего влияния на результаты измерения. Среднеквадратичное отклонение результатов измерений относительно их среднего значения равно 3,5%, что соответствует ошибке воспроизводимости при данной точности измерения.

Для оценки воспроизводимости и правильности метода проводились многократные параллельные определения содержания калия в одних и тех же эталонных пробах.

Таблица 3

Результаты измерения активности  $\text{K}^{42}$  на фоне  $\text{Na}^{24}$

Количество сосчитанных импульсов	Отношение Na/K										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$J_{\beta+\gamma}$	5201	8426	9913	11653	14474	16641	18272	21726	22796	25319	27897
$J_{\gamma}$	1071	3466	4817	6272	8533	10485	11891	14589	15654	17735	19940
$J_{\beta}$	3901	4226	4093	4064	4174	3941	3872	4055	3866	3899	3797

Примечание:  $\bar{J}_{\beta} = 3990$  (Среднее арифметическое значение)

$\sigma = 140$  (Среднеквадратичное отклонение)

$\delta = \frac{\sigma}{\bar{J}_{\beta}} \cdot 100\% = 3,5\%$  (Относительная среднеквадратичная ошибка).



В табл. 4 приведены результаты измерения содержания калия в пробах, предложенных Комиссией по определению абсолютного возраста геологических формаций при ОНЗ АН СССР в качестве эталонов для геохронологических лабораторий страны. Данные таблицы свидетельствуют о хорошей воспроизводимости и правильности анализов. Средняя правильность, вычисленная по результатам 9 эталонных проб, составляет  $\pm 0,95\%$ .

Таблица 4  
Результаты нейтронно-активационного определения содержания калия в эталонных пробах

Эталон	Название пробы	Данные Комиссии при ОНЗ АН СССР	Данные нейтронно-активационного анализа			Правильность, %
			1-е опр.	2-е опр.	среднее	
Карелия-1	Биотит	7,78	7,72	7,90	7,81	+0,40
Карелия-2	Мусковит	8,67	8,50	8,65	8,58	-1,04
Карелия-3	Микроклин	10,98	11,00	11,07	11,03	+0,46
Урал-1	Мусковит	8,53	8,69	8,65	8,67	+1,64
Урал-2	Мусковит	8,62	8,66	8,70	8,68	+0,70
Урал-3	Биотит	7,95	7,87	7,78	7,83	-1,50
Урал-4	Микроклин	11,40	11,26	11,36	11,31	-0,79
Памир-3*	Мусковит	5,36*	5,50	5,38	5,44	+1,49
Койташ*	Биотит	8,93*	8,80	8,96	8,88	-0,55

\* внутрилабораторные эталоны ИГГ АН УзССР.

Учитывая значительную простоту проведения анализа, с целью повышения точности в 2—2,5 раза, нами принято в качестве неотъемлемой части методики проведения анализов горных пород из 4—6 параллельных определений. Ввиду исключительной селективности измерений  $\beta$ -активности  $K^{42}$  точность анализа почти полностью зависит от статистической точности измерений. Поэтому регулированием времени измерения и облучения можно добиться одинаковой точности анализа в широком диапазоне определяемых концентраций калия.

В табл. 5 приведены результаты 6 параллельных анализов различных типов пород Узбекистана (преимущественно основных и ультраосновных) нейтронно-активационным ме-

Таблица 5

Результаты нейтронно-активационного определения содержания калия

Название пробы и номер	Найдено калия, %						Среднее содержание	Воспроизводимость, %
	1-е опр.	2-е опр.	3-е опр.	4-е опр.	5-е опр.	6-е опр.		
Перидотит 307/2	0,060	0,066	0,063	0,061	0,065	0,067	$0,064 \pm 0,0011$	1,7
Пироксенит А-1	0,054	0,060	0,056	0,057	0,059	0,062	$0,058 \pm 0,0028$	1,9
Серпентинит 9985	0,030	0,028	0,032	0,030	0,033	0,029	$0,030 \pm 0,0008$	2,6
Пикритовый порфирит 403	0,080	0,074	0,081	0,078	0,075	0,079	$0,078 \pm 0,0012$	1,5
Перидотит 910	0,210	0,220	0,222	0,196	0,203	0,198	$0,208 \pm 0,0045$	2,1
Диабаз 10	0,69	0,71	0,70	0,68	0,72	0,70	$0,70 \pm 0,014$	2
Диабазовый порфирит 16	1,16	1,20	1,23	1,19	1,21	1,24	$1,21 \pm 0,012$	1
Габбро 9/3	1,09	1,16	1,14	1,12	1,19	1,21	$1,15 \pm 0,018$	1,55
Эффузив «Азия»	4,08	3,87	4,10	4,01	3,96	3,93	$3,99 \pm 0,037$	0,9

Средняя ошибка воспроизводимости  $\bar{\sigma} = 1,8\%$ .



тодом. В последней строчке приведены результаты 6 параллельных определений содержания калия в эталонной пробе породы «Азия» (по данным Комиссии при ОНЗ АН СССР содержание калия в ней равно 4,01%). Среднеквадратичная ошибка единичного определения содержания калия в ней равна 2,25%, в то время как для среднего результата из 6 определений она составляет 0,9%, т. е. в  $\sqrt{6}$  раз меньше. При этом правильность анализа достигла 0,5%.

Некоторый разброс в ошибках воспроизводимости обусловлен недостаточной статистической точностью измерений. Тем не менее, средняя ошибка воспроизводимости меньше 2%.

Таким образом, предлагаемый нейтронно-активационный метод определения калия, являясь чисто инструментальным, не требует химического разложения пробы, очень прост в исполнении и обладает достаточно большой производительностью, высокой точностью и надежностью. Он применим для анализа самых разнообразных геологических объектов, подвергающихся геохронологическим исследованиям, и позволяет повысить точность определения абсолютного возраста геологических образований, особенно для проб с малым содержанием калия.

#### 4. Сопоставление результатов нейтронно-активационного и пламенно-фотометрического методов определения калия

Большое количество различных типов пород и минералов, подвергшихся определению абсолютного возраста калий-аргоновым методом в Институте геологии и геофизики АН УзССР, было проанализировано на содержание калия как нейтронно-активационным, так и пламенно-фотометрическими методами. Результаты сравнения приведены на гистограмме распределения величин расхождений данных, полученных этими методами, относительно пламенно-фотометрического. Расхождение обусловлено суммарной величиной случайных ошибок обоих методов, которая, как правило, подчинена нормальному закону распределения. Проверка последнего может служить, в некоторой мере, критерием правильности указанных методов. Степень близости наблюдаемого распределения, приведенного на рис. 1, к нормальному оценивалась нами с помощью критерия согласия Пирсона, который для 95%-ной доверительной вероятности (т. е. для 5% уровня значимости) показал, что различие между эмпирическим и нормальным распределением несущественно.

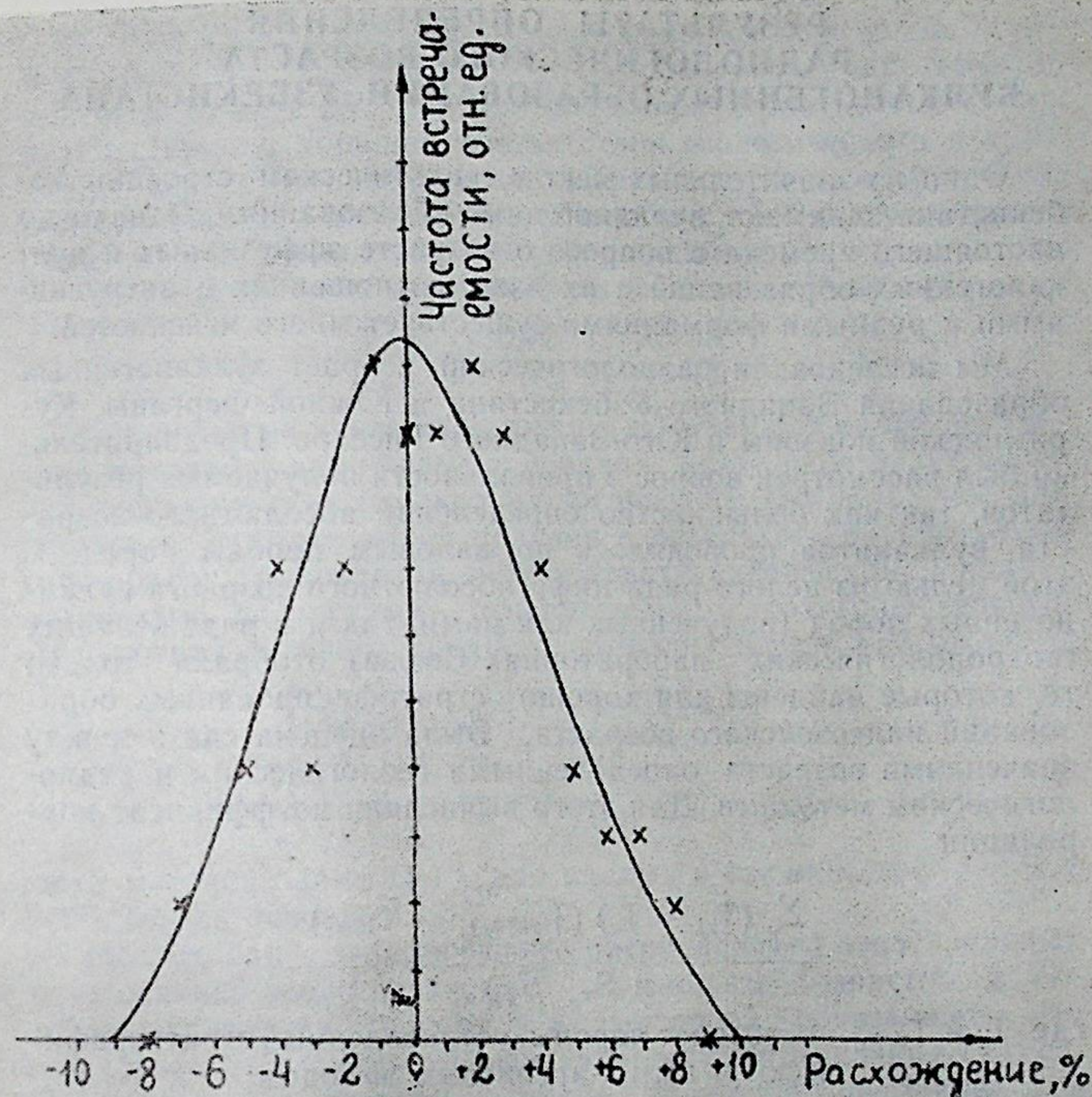


Рис. 1. Гистограмма распределения расхождений данных активационного анализа относительно данных метода пламенной фотометрии.

Среднеквадратичное расхождение между данными нейтронно-активационного и пламенно-фотометрического методов, обусловленное суммарным рассеянием результатов обоих методов, равно 3,4% для содержаний К более 1% и 4% для содержаний более 0,1%, но менее 1%, что свидетельствует о хорошей воспроизводимости каждого метода.

Среднеквадратичное расхождение при содержании калия менее 0,1% значительно больше (порядка 11%), что, видимо, связано с плохой воспроизводимостью метода пламенной фотометрии в данной области концентраций.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА ВУЛКАНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ УЗБЕКИСТАНА

Одно из значительных мест в геологическом строении Узбекистана занимают вулканогенные образования. Однако до настоящего времени в вопросе о возрасте эффузивных и вулканогенных образований и их взаимоотношениях с интрузивными и рудными формациями существует много неясностей.

Мы исследовали радиологический возраст вулканогенных образований Западного Узбекистана и Южной Ферганы, Куряминской подзоны и Юго-Западного Гиссара. Предварительно был рассмотрен вопрос о правильности получаемых результатов, так как большинство определений абсолютного возраста вулканитов проводилось по валовым пробам пород. С этой целью из целого ряда цифр абсолютного возраста вулканогенных пород (полученных как нами, так и в ряде ведущих геохронологических лабораториях Союза) отобрали только те, которые найдены для хорошо стратифицированных образований палеозойского возраста. Была оценена связь между значениями возраста, определенными геологическим и радиологическим методами. Для этого вычисляли коэффициент корреляции

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{c_i} - \bar{T}_c) (T_{(K/Ar)_i} - \bar{T}_{K/Ar})}{n S_{T_c} S_{T_{K/Ar}}}$$

где  $T_c$  и  $T_{K/Ar}$  — возраст породы, установленный стратиграфически и калий-аргоновым методом;

$\bar{T}_c$  и  $\bar{T}_{K/Ar}$  — среднеарифметические значения этих возрастов;

$n$  — число проанализированных проб;

$S_{T_c}$  и  $S_{T_{K/Ar}}$  — среднеквадратичные отклонения.

За  $T_c$  приняты средние значения возрастов стратиграфических горизонтов по шкале абсолютной геохронологии.

Для установления доверительных пределов коэффициента корреляции определяли его дисперсию:

$$S_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}$$

Полученные значения коэффициентов корреляции и их дисперсий

$0,86-0,08 \leq r_1 \leq 0,86+0,08$  — для основных эффузивов,  
 $0,87-0,06 \leq r_2 \leq 0,87+0,06$  — для кислых и средних эффузивов вычислены с 95%-ной доверительной вероятностью и свидетельствуют о хорошем соответствии геологического и аргонового возрастов палеозойских эффузивов, т. е. о практической возможности использования валовых проб вулканогенных образований для абсолютной геохронологии.

Соответствующие уравнения регрессии имеют вид

$$\begin{aligned} T_{K/Ar} &= 0,85 T_c + 40 \\ T_{K/Ar} &= 0,79 T_c + 48. \end{aligned}$$

Как видно из уравнений, цифры, полученные калий-аргоновым методом, для кислых и средних эффузивов будут более заниженными относительно геологического возраста, чем для основных. Этот же вывод получен в результате рассмотрения гистограмм расхождений между стратиграфическим и калий-аргоновым возрастными относительно стратиграфического. Абсолютная величина среднего относительного расхождения

$$\left| \frac{\Delta T}{T_c} \right| = \frac{\sum_{i=1}^n |T_{c_i} - T_{(K/Ar)_i}|}{n}$$

двух методов равна 11,1% для кислых и средних эффузивов и 5,2% — для основных.

Исследование эмпирического распределения относительных расхождений геологического и аргонового возрастов с помощью критериев Пирсона и Колмагорова показывает, что оно согласуется с нормальным законом распределения Гаусса. Следовательно, среднее значение занижения, найденное для данной исследованной выборки, можно распространить и на все вулканогенные образования палеозоя.

На основании изложенного выше можно прийти к выводу о практической возможности использования валовых проб вулканогенных образований для абсолютной геохронологии. Однако при геологической интерпретации  $K/Ar$  значений возраста необходимо учитывать, что в большинстве случаев полученные цифры в той или иной мере занижены. Степень омоложения радиологического возраста палеозойских эффузивов равна 5,2% — для основных, 11,1% — для кислых и средних; для геохронологии более приемлемы основные эффузивы.

Приведем результаты определения абсолютного возраста вулканогенных образований Узбекистана калий-аргоновым



методом по Чаткало-Кураминскому, Западно-Узбекистанскому, Южно-Ферганскому и Гиссарскому регионам. Анализам подвергались вулканогенные породы, возраст которых по геологическим данным точно не установлен.

Кураминская подзона является частью Чаткало-Кураминского региона и характеризуется широким проявлением эффузивных образований герцинского возраста (от  $C_1$  до  $P_2-T_1$ ). Результаты определений радиологического возраста вулканогенных образований этой подзоны сведены в гистограмму (рис. 2а), из которой видно, что для эффузивов региона характерен возраст от 350 до 210 млн. л.; это соответствует широкому интервалу времени от нижнего-среднего карбона до триаса ( $C_1-C_2-T$ ).

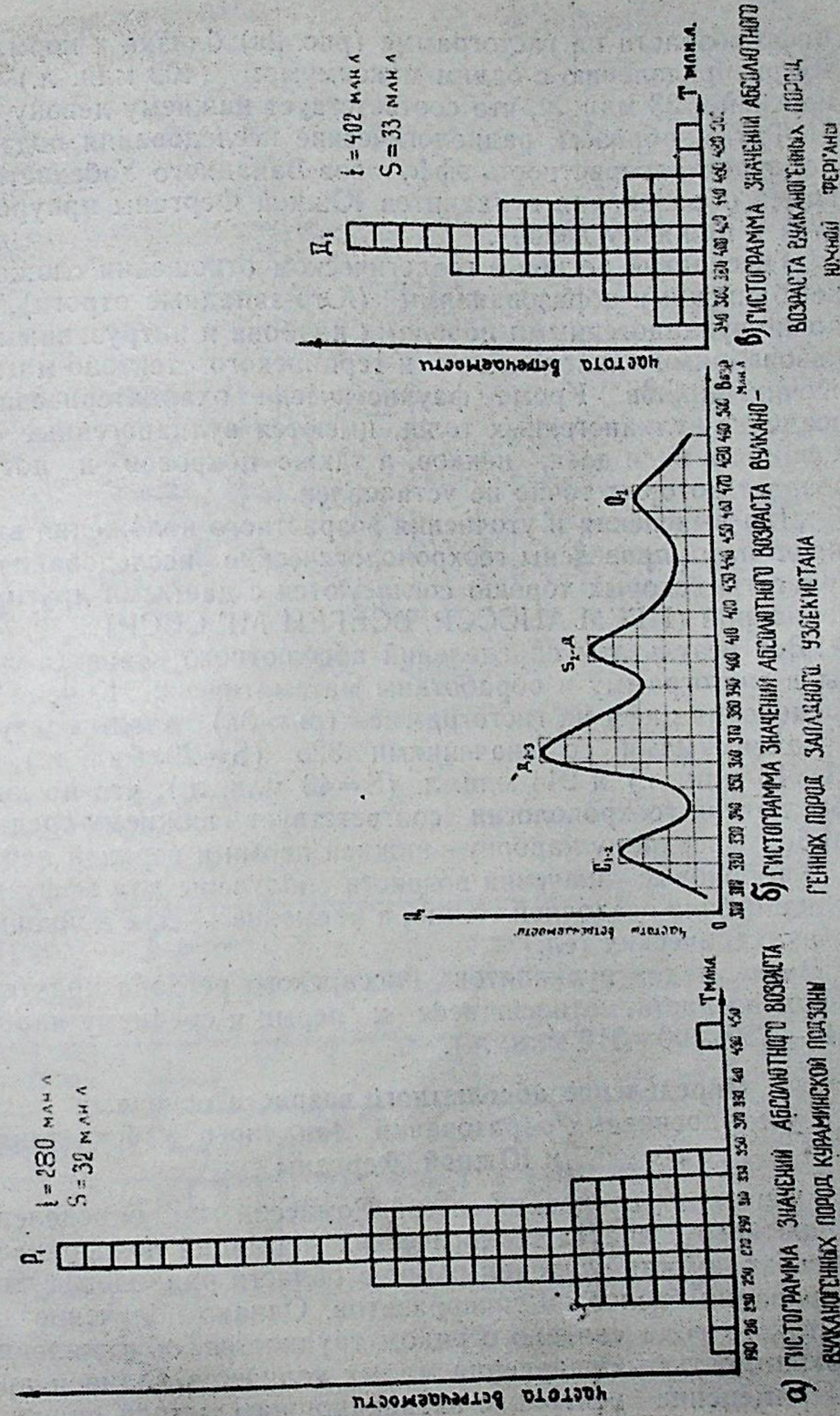
Однако статистическая обработка результатов определения возраста и сравнение их распределения на гистограммах с теоретическим нормальным распределением с помощью критерия Пирсона показывают, что оно подчиняется нормальному закону и характеризуется одним максимумом  $t=280$  млн. л. с дисперсией  $S=32$  млн. л.

Следовательно, на основании радиологических исследований можно прийти к выводу, что вулканогенные образования Кураминской подзоны характеризуются возрастом, соответствующим  $C_2-T_2$ , причем наиболее часто встречаются пермские образования.

На территории Западного Узбекистана и Южной Ферганы довольно широко развиты различные типы магматических образований. Формировались они в течение длительного времени в результате проявления различных тектоно-магматических циклов. Геохронологическим исследованиям подверглись вулканогенные породы из Тамдынского горного массива (Центральные Кызыл-Кумы), Северного Нуратау, Султануиздага, Бакантау и Уч-Кургана, Киргизаты, Аравана, Абшира.

Результаты анализов сведены в гистограмму. Статистическая обработка цифр абсолютного возраста эффузивов Западного Узбекистана дает кривые распределения с 4 максимумами (рис. 2б) в 460—470; 400—410; 360—370 и 320—330 млн. л., что по шкале абсолютной геохронологии соответствует среднему ордовику, нижнему девону, среднему-верхнему девону и нижнему-среднему карбону. Эти интервалы соответствуют эпохам проявления вулканической активности, отраженных в схемах магматизма упомянутого региона («Петрография Узбекистана». кн. 1, 2, 1964, 1965).

Для эффузивов Южной Ферганы кривая распределения





цифр возраста на гистограмме (рис. 2в) близка к нормальному распределению с одним максимумом (402 млн. л.) с дисперсией в 33 млн. л., что соответствует нижнему девону.

Таким образом, радиологические исследования подтверждают разновозрастность эффузивов Западного Узбекистана, а время образования вулканитов Южной Ферганы приурочивается к нижнему девону.

**Гиссарский регион** в геологическом отношении сложен докембрийскими образованиями (Юго-западные отроги), осадочно-вулканогенными породами карбона и интрузивными образованиями каледонского и герцинского тектоно-магматических циклов. Кроме фаунистически охарактеризованных осадочно-вулканогенных толщ, имеются вулканогенные образования в виде даек, некков, а также покровов и потоков, возраст которых точно не установлен.

Для выяснения и уточнения возрастного положения вулканитов нами проведены геохронологические исследования, результаты которых хорошо согласуются с данными других лабораторий (ИГЕМ АН СССР, ВСЕГЕИ МГ СССР).

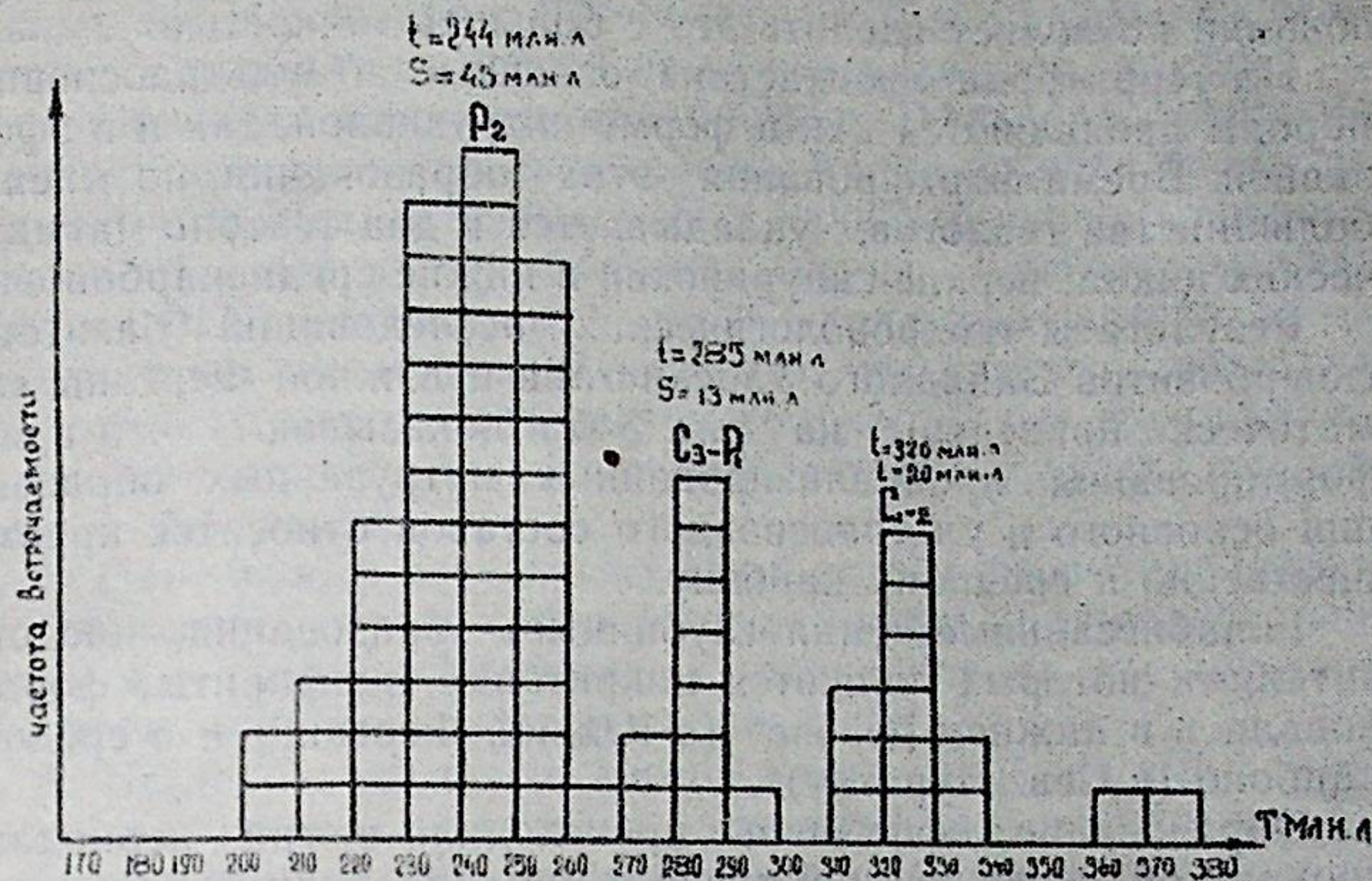
Все результаты определений абсолютного возраста сведены в гистограмму и обработаны математически. Кривая распределения цифр на гистограмме (рис. 3а) характеризуется 3 максимумами со значениями 325 (S=20 млн. л.), 285 (S=13 млн. л.) и 244 млн. л. (S=43 млн. л.), что по шкале абсолютной геохронологии соответствует нижнему-среднему карбону, верхнему карбону—нижней перми и верхней перми.

Карбоновые значения возраста получены для эффузивов вулканогенно-осадочной толщи, а пермские — для дайковых и субвулканических тел.

В целом для вулканитов Гиссарского региона характерны цифры возраста, относящиеся к перми и среднему карбону (245—250, 300—310 млн. л.).

#### Определение абсолютного возраста основных и ультраосновных образований Западного Узбекистана и Южной Ферганы

В решениях последних сессий Комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций подчеркивается необходимость усиления работ в области радиологического датирования базитов и гипербазитов. Однако получение данных такого рода связано с рядом трудностей, обусловленных необходимостью определения малых количеств калия и аргона. Применение нейтронно-активационного метода определе-



а) ГИСТОГРАММА ЗНАЧЕНИЙ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА

Эффузивы	—	—	—
пикритовые порфириты	—	—	—
габбро	—	—	—
пироксенит	—	—	—

300 310 330 340 360 380 400 420 430 450 460  
C<sub>2</sub> C<sub>1</sub> K<sub>3</sub> D<sub>1</sub> D<sub>2</sub> S O<sub>2</sub> O<sub>3</sub>

б) РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ВОЗРАСТУ БАЗИТОВ И ГИПЕРБАЗИТОВ ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА И ЮЖНОЙ ФЕРГАНЫ



ния калия при датировании основных и ультраосновных образований позволяет сделать это с большей точностью.

На территории Узбекистана основные и ультраосновные породы проявляются как в форме интрузивной, так и в эффузивной. Время формирования этих образований, по мнению большинства геологов, укладывается в два тектоно-магматических цикла: верхне-силурийский и нижне-среднекарбонный.

Результаты геохронологических исследований базитов и гипербазитов Западного Узбекистана и Южной Ферганы схематически приведены на рис. 3 б и показывают, что время формирования проанализированных интрузивных образований основного и ультраосновного составов относится преимущественно к среднему карбону.

Гипабиссальные (малоглубинные) образования, представителями которых являются пикритовые порфириты, формировались в нижнем девоне (в Южной Фергане) и в среднем карбоне (в Сев. Нуратау).

Образование эффузивов происходило в три периода: в средний ордовик, нижний девон и нижний-средний карбон.

Ввиду того, что основное количество цифр абсолютного возраста получено для габбро, можно с уверенностью констатировать практическую одновозрастность проанализированных габброидов различных массивов. Повидимому, к габброидам близка также часть пироксенитов этих районов. В отношении же ультрабазитов типа серпентинитов вопрос остается открытым в связи с методической трудностью определения в них малых количеств аргона.

## ВЫВОДЫ

1. Применение нейтронно-активационных методов исследования в калий-аргоновой геохронометрии позволяет повысить надежность, чувствительность, точность и производительность анализов.

2. В результате геохронологических исследований установлен абсолютный возраст некоторых, ранее не определявшихся, геологических образований Узбекистана.

Возраст вулканогенных образований Кураминских гор следует отнести к интервалу времени от среднего карбона до нижнего триаса с преобладанием пермских образований. Вулканы Гиссарского региона относятся к перми и среднему карбону. В Западном Узбекистане и Южной Фергане вулканогенные образования имеют более древний возраст — от среднего ордовика до нижнего-среднего карбона.

Время формирования основных и ультраосновных интрузивных пород Западного Узбекистана и Южной Ферганы относится к интервалу от девона до нижнего-среднего карбона.

3. Показана применимость инструментального нейтронно-активационного метода определения калия ко всем типам пород и минералов, используемых в калий-аргоновой геохронометрии. Данный метод обладает высокой чувствительностью (более 0,01%) и точностью ( $\approx 2\%$ ) для всего интервала определяемых концентраций. Все это существенно повышает возможности широко используемого в настоящее время калий-аргонового метода определения абсолютного возраста геологических образований.

4. Полученные результаты дают основание рекомендовать использование метода нейтронной активации при определении калия в тех геохронологических лабораториях, где есть возможность облучения в ядерном реакторе.

5. Исследование потерь аргона в вакуумной системе для выделения и очистки с помощью радиоактивного индикатора  $Ag^{41}$  показало, что величина этих потерь на всех этапах анализа незначительна и может не приниматься во внимание, за исключением потерь на ловушке с жидким азотом, величина которых пропорциональна рабочей поверхности ловушки и количеству паров воды, выделившихся из пробы.

6. Методами математической статистики доказана возможность использования валовых проб вулканогенных образований для целей абсолютной геохронологии. Рекомендую использование вулканогенных образований для радиологического датирования, указываем на необходимость учета некоторого «омоложения» при геологической интерпретации результатов.

7. Точность калий-аргонового метода определения абсолютного возраста следует характеризовать величиной среднеквадратичной ошибки, которая, как следует из выведенной формулы, зависит от величин относительных среднеквадратичных ошибок определения калия, аргона и определяемого возраста.

Основные материалы диссертации изложены в следующих работах:

1. Аскар Ф. А., Бигаева А. Р. К геохронологии магматических процессов Кызыл-Кумов, «Узб. геол. ж.», 1965, № 4.



2. Хамрабаев И. Х., Аскарлов Ф. А., Бигаева А. Р. и др. К геохронологии основных и ультраосновных пород Узбекистана, В сб. «Вопросы датировки древнейших (катархейских) геологических образований и основных пород» М., Изд-во «Наука», 1967.

3. Бигаева А. Р. Об абсолютном датировании вулканогенных пород, «Узб. геол. ж.», 1968, № 5.

4. Аскарлов Ф. А., Бигаева А. Р., Хамрабаев И. Х. К геохронологии средневерхнепалеозойских вулканогенных формаций некоторых регионов Узбекистана, В сб. «Геолого-радиологическая интерпретация несходящихся значений возраста» (тезисы докладов XVI сессии Комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций), 1969.

5. Бигаева А. Р., Хуснутдинов Р. И., Мингалиев Г. Г. Использование нейтронно-активационного метода определения калия для геохронологических исследований, там же.

6. Далимов Т. Н., Шарипов Т., Аскарлов Ф. А., Бигаева А. Р. О возрасте и последовательности образования субвулканических интрузий хребта Сурхантау (Юго-Западные отроги Гиссара), «Узб. геол. ж.», 1969, № 3.

7. Бигаева А. Р., Хуснутдинов Р. И., Лобанов Е. М. Исследование потерь аргона в вакуумной системе при калий-аргоновом методе определения абсолютного возраста геологических образований «Узб. геол. ж.», 1970, № 2.

8. Бигаева А. Р., Хуснутдинов Р. И., Аскарлов Ф. А. О точности определения абсолютного возраста геологических образований К/Аг методом, «Узб. геол. ж.», 1970, № 6.

9. Хуснутдинов Р. И., Лобанов Е. М., Бигаева А. Р. Определение точности активационного метода анализа, В сб. «Активационный анализ» (материалы II Всесоюзного совещания по активационному анализу, Ташкент, 1968 г.), Ташкент, Изд-во «Фан» УзССР (в печати).

Материалы работы докладывались: на XIII (Ужгород, 1966 г.) и XVI (Москва, 1969 г.) сессиях Комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций при ОНЗ АН СССР, Втором Всесоюзном совещании по активационному анализу (Ташкент, 1968 г.) и конференциях молодых ученых АН УзССР 1965—1968 гг.

Институт геологии и геофизики

Объем 1,5  
Подписано к печати 15/XII-70 г.  
Тираж 200  
Р 05982  
Заказ № 6847

Типография № 6 Госкомитета Совета Министров УзССР по печати,  
г. Ташкент, ул. Т. Шевченко, 52