

Р и с. 3. Доля однократно рассеянного излучения в альбедном потоке

$= 180^\circ$ , что  $\alpha(\theta_0, \theta, \varphi) = \alpha(\theta'_0, \theta', \varphi)$ . Непосредственной проверкой (таблица) установлено, что для поляризованного излучения метод экономии справедлив с погрешностью 2–3% при условии  $\sin \theta \sin \varphi \leq 0,3 \div 0,35$ . Для  $\sin \theta \sin \varphi \sim 0,6 \div 0,7$  погреш-

ность определения  $\alpha_{\perp, \parallel}(\theta_0, \theta, \varphi)$  по методу экономии возрастает до 25–30%.

Сравнение альbedo однократно рассеянного излучения, рассчитанного по (4), с данными по полному альbedo для железа  $\alpha(E_0, \theta_0, \theta, \varphi)$  [2] показало, что однократное альbedo составляет заметную долю от полного (рис. 3). Это характерно для веществ, где велика роль фотопоглощения, и для начальной энергии  $E_0$ , меньшей  $E_{\text{мин}}$ , при которой коэффициент поглощения  $\mu(E)$  достигает минимума. Вследствие этого можно полагать, что особенности, отмеченные для альbedo однократно рассеянного поляризованного излучения, сохраняются и при учете следующих порядков рассеяния.

Поступило в Редакцию 24/III 1977 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Evans R. Handbuck der Physik. Springer-Verlag. Berlin, Göttingen — Heidelberg, 1958, v. 34, p. 219.
2. Булатов Б. П. и др. Альbedo гамма-излучения. М., Атомиздат, 1968.

УДК 543.53

## Нейтронно-активационная установка со сменными блоками облучения

ВАХТИН Б. С., ИВАНОВ В. С., КУЗНЕЦОВ Г. А.

Принятая методика раздельного определения алюминия и кремния нейтронно-активационным методом с использованием ядерных реакций  $^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$  на тепловых нейтронах и  $^{28}\text{Si}(n, p)^{28}\text{Al}$  на быстрых нейтронах предусматривает двойное облучение пробы: потоком медленных и потоком быстрых, точнее, надкадмиевых нейтронов. Оба облучения проводятся в одном и том же водородсодержащем блоке соответственно без фильтра и с кадмиевым фильтром\*. При облучении в кадмиевом фильтре не все быстрые нейтроны, двигающиеся в направлении пробы, достигают ее, не потеряв скорости: часть нейтронов замедляется и рассеивается на ядрах водорода и не участвует в активации кремния. Этот недостаток можно устранить применением двух различных блоков облучения: одного — по медленным и второго — по быстрым нейтронам.

Такая установка создана авторами. Активационный блок этой установки представляет собой бак, на дно которого фиксированно устанавливается основной блок источника, изготовленное из оргстекла. На основании прикрепляется блок источника. В этом блоке имеется вертикальный рабочий канал, в который помещается проба на активацию. Два вертикальных канала, расположенные по обе стороны рабочего, служат для размещения нейтронных источников. Блок источников выполнен в двух вариантах: блок медленных и быстрых нейтронов (МН и БН). Они имеют

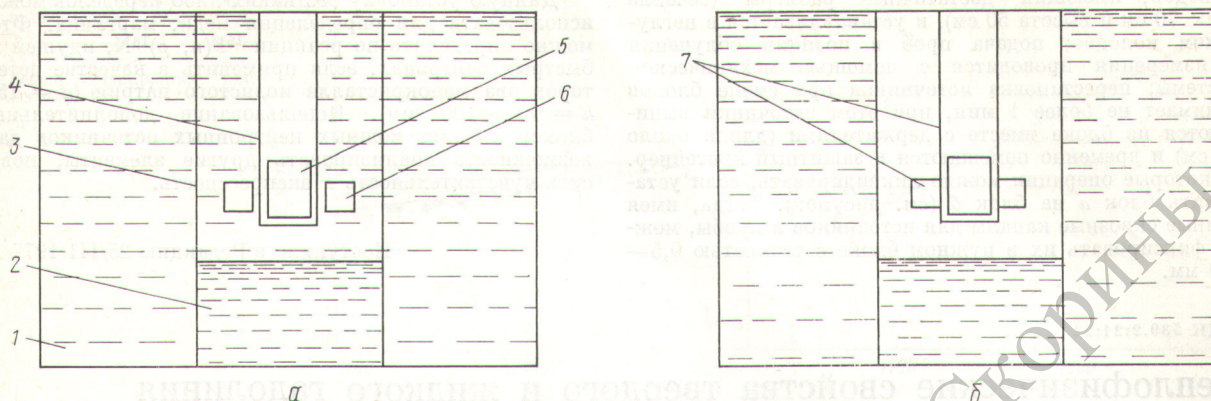
одинаковые габариты и взаимозаменяемы. Блок МН целиком изготовлен из оргстекла; источники нейтронов отстоят от рабочего канала приблизительно на 1,5 см. Блок БН полый, изготовлен из листового винипласта; в нем отсутствуют какие-либо замедляющие вещества, а его каналы (рабочий и для источников) выполнены из кадмия, причем источники вплотную примыкают к рабочему каналу. В рабочем положении блоки МН или БН окружены водой, заливаемой в бак (рисунок).

Блок регистрации включает в себя монокристалл иодистого натрия, активированного таллием, диаметром 160 и высотой 200 мм с колодцем диаметром 70 мм, фотоэлектронный умножитель ФЭУ-49 и анализатор импульсов АИ-128—2.

Геометрические параметры установки и временные режимы выбирались исходя из ее назначения: полевой анализ насыпных проб и керн диаметром до 60 мм для определения алюминия, кремния и натрия. Эталонные и анализируемые насыпные пробы помещались в полиэтиленовые баночки диаметром  $\sim 60$  мм, керн — в тонкостенные стаканы из оргстекла. Масса эталонных проб — по 330 г. При определении алюминия и кремния время облучения составляло 9 мин, перерыва 10 с, измерение наведенной активности 9,8 мин (по таймеру АИ-128—2). Идентификация  $^{28}\text{Al}$  проводилась по фотопику в области энергии 1,78 МэВ.

Преимущество использования двух блоков облучения видно из сопоставления данных общепринятого и предлагаемого методов раздельного определения алюминия и кремния. В таблице приводятся значения скоростей счета для эталонных проб при облучении их в различных блоках (для одинаковых временных режи-

\* Бланков Е. Б. и др. Нейтронно-активационный анализ в геологии и геофизике. М., «Наука», 1972, с. 327.



Схематическое изображение нейтронно-активационной установки с блоком медленных (а) и быстрых (б) нейтронов: 1 — вода; 2 — основание блока источников; 3 — блок источников нейтронов; 4 — рабочий канал; 5 — проба; 6 — нейтронный источник; 7 — кадмий

мов). Как видно из таблицы, активация кремниевого эталона в блоке БН увеличилась почти на 40% по сравнению с активацией в блоке МН с кадмиевым фильтром. В то же время активация алюминиевого эталона в блоке БН уменьшилась более чем в 5 раз. Следовательно, в блоке БН активируется в основном кремний, и тот факт, что активация кремния в этом блоке возрастает, а алюминия — уменьшается, способствует повышению точности определения кремния.

Это преимущество нашло свое выражение в формуле для расчета концентрации кремния в пробах. Формулы для общепринятой и предлагаемой методик имеют вид:

$$P_{SiO_2} = \frac{(B - kA) 100}{(l - k)} = \frac{B - 0,047A}{447}; \quad (1)$$

$$P_{SiO_2} = \frac{(B - kA) 100}{(1 - N_{Si}/N_{Al}) N_{Si}^{Cd}} = \frac{B - 0,0087A}{527}, \quad (2)$$

где  $k = N_{Al}^{Cd}/N_{Al}$ ,  $l = N_{Si}^{Cd}/N_{Si}$ .

Здесь  $A$  и  $B$  — скорость счета от пробы при облучении ее медленными и быстрыми нейтронами;  $N_{Al}$ ,  $N_{Si}$  и  $N_{Al}^{Cd}$ ,  $N_{Si}^{Cd}$  — скорость счета от эталонных проб после облучения их медленными и быстрыми нейтронами соответственно.

Видно, что формула (2) имеет преимущество по сравнению с (1): в ней значительно (в 5,4 раза) уменьшился коэффициент при величине  $A$ , являющейся поправкой

#### Активация алюминиевого и кремниевого эталонов в различных блоках облучения

Тип блока	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	SiO <sub>2</sub> *	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> **	SiO <sub>2</sub> **
МН	265000	47500	12500	46400
БН	—	—	2300	64500

\* Активация без кадмия.  
\*\* Активация в кадмиевом ф. фильтре.

на активацию алюминия при облучении пробы быстрыми нейтронами, т. е. при расчете концентрации кремния величина  $A$  играет незначительную роль, и в принципе определение кремния можно проводить, облучая пробы только в блоке БН.

Формулы для расчета концентрации алюминия по двум методикам и коэффициенты в них изменились несущественно.

Эксперименты с порошковыми пробами пород (14) показали, что при расчетах концентрации кремния по формулам (1) и (2) (соответственно применялась та или иная методика облучения) и сопоставлении повторных нейтронно-активационных определений кремния на воспроизводимость значение  $m$  при расчетах по формуле (2) в 4 раза меньше, чем по формуле (1). Воспроизводимость определения алюминия одинакова для обеих методик.

Приведенные данные явились основанием для создания нейтронно-активационной установки, в которой при раздельном определении алюминия и кремния применяются два блока облучения. Установка транспортабельная; она эксплуатировалась в полевых условиях. Порог чувствительности для алюминия и кремния составляет 0,2—0,4 и 1—3% соответственно.

Эта установка использовалась также для определения натрия по ядерной реакции  $^{23}Na(n, \gamma)^{24}Na$ , идущей на тепловых нейтронах ( $T = 15$  ч,  $E^I = 1,37$ ,  $E^{II} = 2,75$  МэВ). Блок облучения представляет собой кассету, включающую 6 или 8 стаканов из оргстекла (соответственно для зерна диаметром 60 и 40 мм), расположенных по окружности относительно нейтронного источника, помещаемых на время облучения в воду. Время облучения, перерыва и измерения составляет 10; 10 ч и ~30 мин соответственно.

Калибровка осуществлялась по эталонным пробам пород с известным содержанием натрия (данные пламенного фотометрического анализа). Идентификация  $^{25}Na$  и расчет его концентрации проводился по обоим фотопикам. Порог чувствительности на натрий ~0,2%.

Применяемые Pu—Be-источники (две ампулы) имеют выход  $8,6 \cdot 10^6$  нейтр./с.

Опасность облучения на этой установке сведена к минимуму: блок с источниками помещается в бак

с водой, имеющий достаточные размеры (сечение  $70 \times 70$  см и высота 50 см), и устанавливается в неглубоком колодце; подача проб в позиции облучения и измерения проводится с помощью механической системы; перестановка источников при смене блоков занимает не более 1 мин, при этом источники вынимаются из блока вместе с держателями (длина около 30 см) и временно помещаются в защитный контейнер. Некоторые операции можно ликвидировать, если установить блок *a* на блок *b* (см. рисунок). Тогда, имея единые сквозные каналы для источников и пробы, можно фиксировать их в нужном блоке с точностью 0,5–1,0 мм.

Данную установку без каких-либо переделок можно использовать для определения меди, марганца. Фтор можно определять по реакции  $^{19}\text{F}(n, p)^{18}\text{F}$ , идущей на быстрых нейтронах, если применить в качестве детекторов два монокристалла иодистого натрия ( $d = 150$ ,  $h = 70 - 100$  мм). Использование дополнительных блоков и более мощных нейтронных источников даст возможность анализировать другие элементы, повысить чувствительность и экспрессность.

Поступило в Редакцию 25/III 1977 г.

УДК 539.2:21:22

## Теплофизические свойства твердого и жидкого гадолиния

НОВИКОВ И. И., ФИЛИППОВ Л. П., КОСТЮКОВ В. И.

В исследованиях теплофизических свойств твердых и жидких металлов редкоземельные элементы занимают особое место. Обращают на себя внимание малое изменение тепло- и электропроводности при плавлении, аномальные температурные коэффициенты электропроводности у некоторых металлов этой группы, наличие полиморфных превращений в твердой фазе. В то же время теплофизические свойства гадолиния изучены слабо. В работах [1, 2] приведены результаты измерений тепловых свойств гадолиния в твердой фазе до температуры полиморфного превращения, в [3] имеются сведения об энтальпии.

В настоящей работе даны результаты экспериментального исследования комплекса тепловых характеристик: теплоемкости, температуро- и электропроводности, а также электропроводности гадолиния при температуре от 110 до 2100 К.

Для измерения тепловых свойств использован метод радиальных температурных волн, создаваемых модулированной электронной бомбардировкой внутренней поверхности полого цилиндрического тигля, заполненного исследуемым металлом [4]. Наряду с вариантом периодического изменения мощности использовался новый способ одиночных П-образных импульсов нагрева и охлаждения образца; этот способ позволяет расширить интервал исследованных температур

и получить более уверенные данные в низкотемпературной области, где относительно велико соотношение шум/сигнал [5]. Систематические погрешности результатов измерений теплоемкости, температуро- и электропроводности составляют 3–4; 2–3; 5–7% соответственно. Коэффициент теплового расширения взят из работы [6].

В работе использован образец со следующим составом примесей, %: Y < 0,01; Tb < 0,01; Eu, Sm не обнаружены; Cu — 0,01; Fe — 0,01; Si — 0,01; H — 0,001; N — 0,005; F — 0,007; C — 0,02.

Для измерений электропроводности применен четырехзондовый метод (нагрев в высокочастотной индукционной печи [7]). Погрешность данных составляет ~1%.

Результаты измерений теплофизических свойств изображены на рис. 1–3. Сглаженные данные приведены в табл. 1. Полученные значения для теплоемкости твердого гадолиния (см. рис. 1) отличаются примерно на 3 и 7% от результатов работ [3, 1] соответственно, что не превышает суммы систематических погрешностей экспериментов. Теплоемкость твердой фазы и ее температурный коэффициент близки к значениям для тугоплавких металлов.

На рис. 1 пунктирная кривая проведена в соответствии с формулой  $C_p = 6 + 3T/T_{пр}$ , полученной

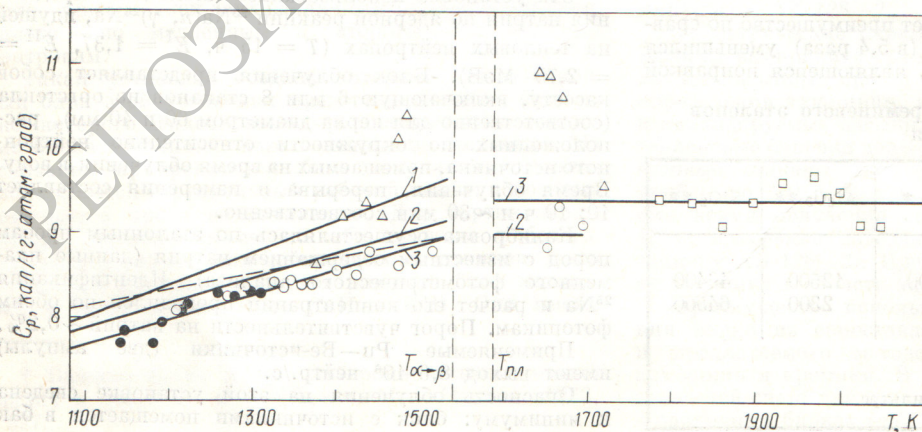


Рис. 1. Теплоемкость гадолиния:

1, 2, 3 — данные работы [1, 3] и авторов соответственно; — — — [8]; ●, □ — импульс нагрева и охлаждения; ○ — периодическое изменение мощности