

## Нейтронно-активационный анализ костей динозавра на уран, торий и редкоземельные элементы

ГАНЗОРИГ Ж., ГУН-ААЖАВ Т.\*, ГЭРБИШ Ш. \*, ОТГОНСУРЭН О., СЭРЭЭТЭР Ж. \*, ЧАДРААБАЛ И. \*, ЧУЛТЭМ Д.

УДК 543.53

Содержание урана в костях динозавров исследовалось ранее путем регистрации осколков деления  $^{235}\text{U}$  тепловыми нейтронами [1], а также по  $\gamma$ -излучению продуктов распада  $^{238}\text{U}$  [2]. В настоящей работе исследуется содержание U, Th и редкоземельных элементов (р.з.э.) в этих костях методом активационного анализа.

Активация резонансными нейтронами позволяет проводить бездеструктивное определение урана и тория в материалах сложного химического состава [3]. На реакторе ИБР-30 (ОИЯИ) с использованием этого метода сделан количественный анализ U и Th в костях динозавра. На рис. 1 показаны  $\gamma$ -спектры образца кости и эталона, измеренные при одинаковых условиях. Сравнением площадей соответствующих пиков на этих спектрах определялась концентрация анализируемых элементов, которая оказалась равной:  $(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$  и  $(1,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$   $\mu\text{г}/\text{г}$  соответственно для U и Th в исследуемых образцах.

Для анализа на редкоземельные и другие элементы образец кости облучался на тепловом канале реактора потоком  $1,3 \cdot 10^{13}$  нейтр/см $^2$ ·сек в течение 5 мин. Спектры а и б (рис. 2) измерены через 2 дня после облучения и соответствуют эталону весом 10 мкг U и костному образцу.

Происхождение пиков в  $\gamma$ -спектре а Таблица 1

Изотопы	$E_{\gamma}$ , кэв
$^{239}\text{Np}$	106, 120, 210, 228, 278, 333
$^{91\text{m}}\text{Y} (^{91}\text{Sr})$	556
$^{97}\text{Nb}$	658
$^{97}\text{Zr} + ^{99}\text{Mo}$	743
$^{99}\text{Mo} + ^{99}\text{Tc}$	140
$^{103}\text{Ru}$	495
$^{106}\text{Rh} (^{106}\text{Ru})$	512
$^{132}\text{Te} (^{239}\text{Np})$	228
$^{132}\text{I}$	773
$^{133}\text{I} + ^{135}\text{Xe} (^{135}\text{I})$	530
$^{135}\text{Xe}$	250
$^{143}\text{Ce}$	290, 350

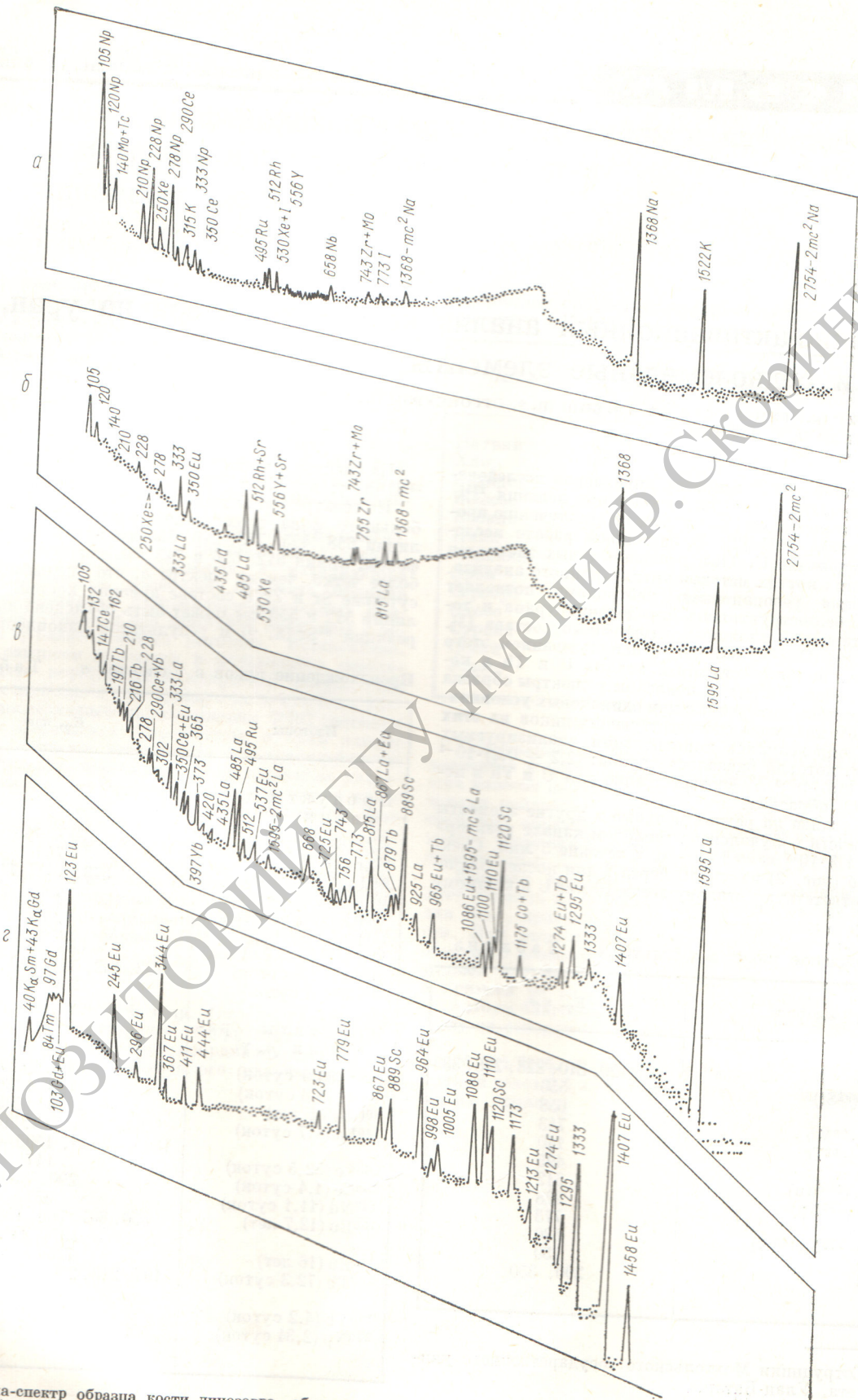
\* Сотрудники Монгольского государственного университета, Улан-Батор.

На спектре а четко видны линии продуктов реакций  $^{238}\text{U} (n, \gamma; \beta^-)$  [4] и  $^{235}\text{U} (n, \gamma)$  [5, 6] (табл. 1).

На спектре б эти линии проявились менее четко из-за большого фона естественной радиоактивности кости; линии 658, 495, 773, 290, 350 кэв замаскированы этим фоном; линии 512, 556 и 743 кэв, наоборот, выражены более четко, чем на спектре а, что указывает на присутствие Sr и Zr в составе древних костей. Усиление линий 512 и 556 кэв может быть объяснено вкладом от реакции  $^{84}\text{Sr} (n, \gamma)$  и результатом накопления долго-

Происхождение пиков в  $\gamma$ -спектре б Таблица 2

Изотопы	$E_{\gamma}$ , кэв
Продукты деления $^{235}\text{U}$	
$^{95}\text{Zr}$ (65,2 суток)	725, 755
$^{97}\text{Zr}$ (17 ч)	743
$^{99}\text{Mo}$ (2,8 суток)	373, 743, 773
$^{103}\text{Ru}$ (39,4 суток)	495
$^{106}\text{Rh} (^{106}\text{Ru}, 1 \text{ год})$	512
$^{131}\text{I}$ (8,1 суток)	365
$^{132}\text{I} (^{132}\text{Te}, 3,2 \text{ суток})$	668, 773
$^{140}\text{Ba}$ (12,8 суток)	132, 162, 304, 420, 435, 537
$^{143}\text{Ce}$ (1,4 суток)	290, 350
Продукты реакции (n, $\gamma$ )	
$^{46}\text{Sc}$ (83,9 суток)	889, 1120
$^{59}\text{Fe}$ (45,6 суток)	1100, 1295
$^{60}\text{Co}$ (5,5 лет)	1175, 1333
$^{140}\text{La}$ (1,7 суток)	333, 435, 815, 867, 925, 1595— $2\text{mc}^2$ , 1595— $\text{mc}^2$ , 1595
$^{141}\text{Ce}$ (32,5 суток)	147
$^{143}\text{Ce}$ (1,4 суток)	290, 350
$^{147}\text{Nd}$ (11,1 суток)	537
$^{152}\text{Eu}$ (12,7 лет)	350, 867, 965, 1086, 1110, 1274, 1407
$^{154}\text{Eu}$ (16 лет)	725, 1295
$^{149}\text{Tb}$ (72,3 суток)	197, 216, 299, 879, 965, 1175, 1274
$^{175}\text{Yb}$ (4,2 суток)	290, 397
$^{239}\text{Np}$ (2,34 суток)	106, 210, 228, 278, 333



Р и с. 2. Гамма-спектр образца кости динозавра, облученного тепловыми нейтронами.

Происхождение пиков в  $\gamma$ -спектре  $\epsilon$  Таблица 3

Изотопы	$E_{\gamma}$ , кэв
$^{153}\text{Gd}$	97, 103
$^{152}\text{Eu}$	123, 245, 296, 344, 367, 411, 444, 779, 867, 964, 1086, 1110, 1213, 1274, 1407, $40\text{K}_{\alpha}\text{Sm} + 43\text{K}_{\alpha}\text{Gd}$
$^{154}\text{Eu}$	123, 723, 998, 1005, 1295, 1458, $43\text{K}_{\alpha}\text{Gd}$
$^{170}\text{Tm}$	84
$^{46}\text{Sc}$	889, 1120
$^{60}\text{Co}$	1173, 1333

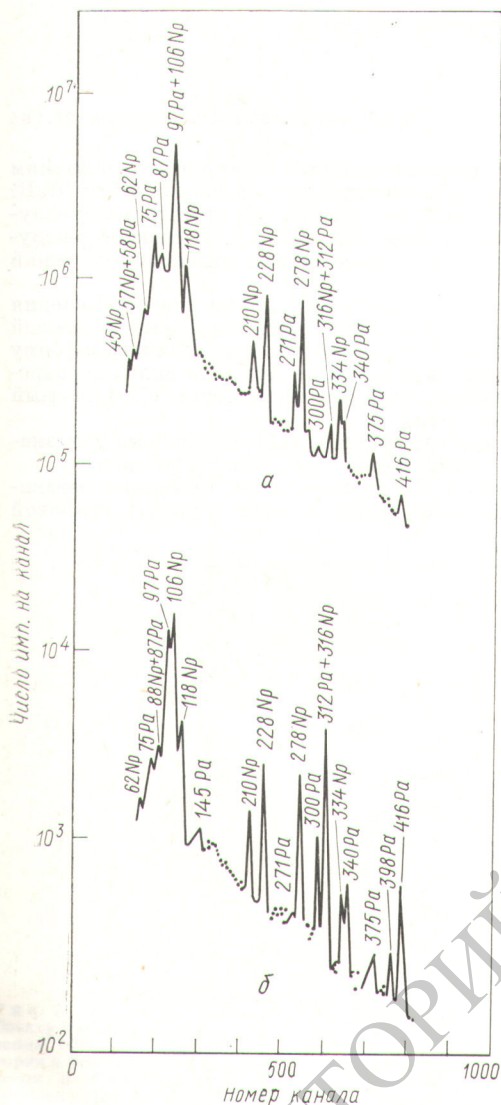


Рис. 1. Гамма-спектры кости динозавра (а) весом 20 г и эталона (б) весом 10 мгг U + 100 мгг Th, облученных потоком резонансных нейтронов (Время облучения 2 дня, выдержки 2 дня, измерения 1 ч).

живущего радиоизотопа  $^{91}\text{Sr}$  (28 лет) в костях. Усиление линии 743 кэв обусловлено реакцией  $^{98}\text{Zr}$  ( $n, \gamma$ ), сечение которой примерно равно 0,1 барн. О присутствии циркония свидетельствует появление новой линии 755 кэв  $^{95}\text{Zr}$  на спектре б. Хотя этот изотоп является одним из продуктов деления  $^{235}\text{U}$ , его можно отнести к продукту реакции  $^{94}\text{Zr}$  ( $n, \gamma$ ), так как линия 755 кэв отсутствует на спектре а. «Исчезновение» двух линий (250 и 530 кэв) на спектре б, по-видимому, обусловлено диффузией ксенона в пористой структуре кости.

Эталон из урана содержал Na и K, а их линии 315, 1522 кэв  $^{42}\text{K}$  и 857, 1368, 1732 кэв  $^{24}\text{Na}$  на спектре а служили для внутренней калибровки. Видно, что древняя кость содержит много натрия и мало калия. Появление пяти линий  $^{140}\text{La}$  (333, 435, 485, 815, 1595 кэв)

на спектре б свидетельствует о том, что исследуемые образцы содержат большое количество р. з. э. Для обнаружения других р. з. э. измерены спектры  $\epsilon$  и  $\zeta$  (табл. 2 и 3) соответственно через 15 и 400 дней после облучения [4, 7, 8]. Действительно, эти измерения показывают, что древние кости кроме U и Th содержат редкоземельные элементы цериевой и иттриевой группы, включая скандий. Этот факт соответствует хорошо известной геохимической корреляции между актиноидными и лантаноидными элементами. Совместное нахождение всех обнаруженных элементов в костях (U, Th, р. з. э., Sr, Zr, Na, Ba, Fe, Co) может быть связано с явлением изоморфизма. Поэтому представляет большой интерес анализ древней кости на Li, Be, Mg, Al, Ca, Ti, Y и Ni.

Отметим, что анализ на р. з. э. является лишь качественным. Количественный анализ, необходимый для детального исследования природы и механизма накопления этих элементов в костях, требует их предварительного химического разделения [9]. Это, в частности, связано с тем, что изотопы наиболее распространенных р. з. э. ( $^{140}\text{La}$ ,  $^{143}\text{Ce}$ ) образуются не только в результате реакции ( $n, \gamma$ ), но и реакции  $^{235}\text{U}$  ( $n, f$ ), а также распада продуктов деления. Большая интенсивность линий  $^{140}\text{La}$  на спектре  $\epsilon$  объясняется накоплением этого изотопа в результате распада  $^{140}\text{Ba}$  (~12 дней), образующегося с большим выходом при делении урана [10].

Поступило в Редакцию 22/VIII 1972 г.  
В окончательной редакции 11/VI 1973 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Отгонсурэн О., Перельгин В. П., Чултэм Д. «Атомная энергия», 1970, т. 29, вып. 4, с. 301.
2. Гун-Аажав Т. и др. «Атомная энергия», 1973, т. 35, вып. 2, с. 130.
3. Ганзориг Ж. и др. Препринт ОИЯИ 6-7040, Дубна, 1973.
4. Adams F., Dams R. J. Radioanal. Chem., 1969, v. 3, p. 99—125.
5. Gordon G. e.a. Nucleonics, 1966, v. 24, № 12, p. 62.
6. Adams F., Dams R. См. [4], p. 271—285.
7. Dams R., Adams F. J. Radioanal. Chem., 1970, v. 7, p. 127—160.
8. Меднис И. В. Справочные таблицы для нейтронно-активационного анализа. Рига, «Зинатне», 1969.
9. Higuchi H. e.a. J. Radioanal. Chem., 1970, v. 5, p. 207—222.
10. Грешилов А. А., Колобашкин В. М., Деметьев С. Н. Продукты мгновенного деления  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ . М., Атомиздат, 1969.