

## РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСТЕЙ ДИНОЗАВРА

Д. Чултэм, Д. Сангаа, А.А. Кацнельсон

### Введение

Известно, что кости животных содержат органический и неорганический компоненты. В отличие от живой кости ископаемая кость динозавра практически не содержит органического компонента и представляет собой сложную систему минералов, в состав которых входит гидроксиапатит  $Ca_3(PO_4)_2 \cdot n H_2O$  – трёхзамещённый фосфорнокислый кальций.

В работах [1,2] исследовалась естественная радиоактивность костей динозавра, и было показано, что спектр гамма-лучей соответствовал  $Ra - 226$ , который является химическим аналогом кальция. В работах [3, 4] методом нейтронной активации было показано, что наблюдаемая радиоактивность этих костей связана с большим содержанием ( $10^{-4}$ – $10^{-3}$  г/г) урана.

Была выдвинута гипотеза об изоморфном замещении атомов кальция ионами элементов второй группы Периодической системы  $Be^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Sr^{+2}$ ,  $Ba^{+2}$ ,  $Ra^{+2}$  и двухвалентными ионами уранила  $UO_2^{+2}$ . В работе [5] методом рентгено-флуоресцентного анализа были определены с большой точностью концентрации  $Sr$ ,  $Ba$  и  $U$  в костях динозавра и было получено веское указание на правдоподобность гипотезы о накоплении этих элементов за большие геологические времена, исчисляемые десятками миллионов лет.

Неорганический компонент кости, кроме минерала, носящего название оксиапатит – единственный компонент системы  $Ca - PO_4 - H_2O$ , устойчивой в нейтральной среде, содержит и другое кальцийсодержащее соединение – карбонат кальция  $CaCO_3$ .

В 50-х годах стало известно [6], что замещение ионов фосфата в костях ионами карбоната является одним из возможных механизмов обмена в костях. В работе [7] было высказано предположение о том, что карбонат представляет собой самостоятельную фазу кости, а именно углекислый кальций. Вопрос о природе и структурном состоянии карбоната в минеральном компоненте кости на протяжении многих лет привлекал внимание исследователей и всё ещё до конца не решен.

Поэтому изучение кристаллической структуры костей представляет несомненный интерес с точки зрения более полного построения модели костного минерала. В данной работе поставлена задача: выяснить вопрос о карбонатной фазе ископаемых костей динозавра, найденных на территории Монголии, методом дифракции рентгеновских лучей.

### 1. Эксперимент

Рентгеновский фазовый анализ кости динозавра был проведен в лаборатории твердого тела МГУ на дифрактометре ДРОН.

В качестве источника излучения использовалась рентгеновская трубка с медным анодом, и регистрация отраженного излучения осуществлялась сцинтилляционным счётчиком. Монохроматизированное  $Cu_{K\alpha}$  излучение отражалось под углом  $14,2^\circ$  от плоскостей (III) монохроматора. Фокусировка проводилась по стандартной схеме Брэгга-Брентано, и падающее на образец излучение коллимировалось щелями 1мм по горизонтали и 8мм по вертикали.

На гониометре был установлен специальный коллиматор для уменьшения рассеяния рентгеновских лучей воздухом на малых углах отражения.

## 2. Обсуждение результатов

Расшифровка дифракционных спектров показывает, что кость динозавра представляет собой многофазную систему, состоящую, в основном, из различных модификаций углекислого кальция, таких как кальцит, арагонит, фатерит ( $CaCO_3$  - III, которая образуется под высоким давлением  $\approx 20$  кбар [8]) и  $Ca_3(PO_4)_2 \cdot n H_2O$ .

На рисунке показана полученная рентгенодифрактограмма, в таблице приведены дифракционные отражения (интенсивности, углы Брэгга-Бульфа, межплоскостные расстояния) и соответствующая расшифровка фазового состава кости динозавра [9, 10].

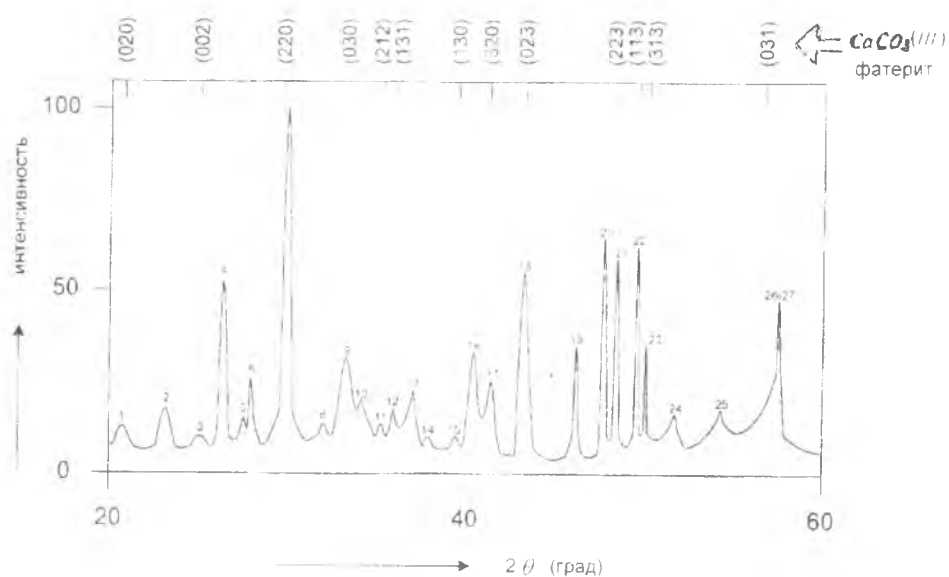


Рис. Рентгенодифрактограмма кости динозавра

Базируясь на полученных результатах, можно сделать следующие выводы, касающиеся двух разных механизмов образования кристаллических компонентов древних костей:

1. Обнаруженные в костях динозавра различные модификации кристаллических структур  $CaCO_3$  показывают правильность гипотезы [7] о существовании самостоятельной фазы кальцийсодержащих соединений в виде кальцита.

Сосуществование  $CaCO_3$  и  $Ca_3(PO_4)_2 \cdot n H_2O$  в ископаемых костях может быть интерпретировано как замещение карбоната фосфатом наряду с замещением кальция другими ионами во внутренних частях кристалла. Следует отметить, что ранее выдвинутая гипотеза о “внутрикристаллическом карбонате” была основана только на результатах исследования геологических образцов [6].

2. Наличие модификации  $CaCO_3$  – III, которая образуется при высоких давлениях [8], само по себе является загадочным и неожиданным фактом.

Этот результат трудно объяснить с точки зрения геохимии, то есть изменением кристаллографической структуры древних костей под влиянием природных факторов. Весьма привлекательным, альтернативным объяснением служит рост кристаллов в специфических условиях внутри живой кости.

Этот факт не исключает возможности того, что особая структура кости динозавра связана с биологическими особенностями динозавра, в частности с его гигантским весом, требующим особую прочность кости как архитектурного материала. Для проверки такой биоструктурной гипотезы, естественно, требуются дальнейшие тщательные исследования этого чрезвычайно интересного объекта.

Таблица

Интенсивности дифракционных отражений, I	Углы Брэгга-Вульфа, $2\theta$ , град.	измеренные межплоскостные расстояния, $d_{hkl}$	табл. $d_{hkl}$				
			$CaCO_3$ - I (кальцит)	$CaCO_3$ - II (арагонит)	$CaCO_3$ - III (фатерит)	$CaSiO_3$ (силицид)	$Ca_3(PO_4)_2 \cdot nH_2O$ (гидрооксипатит)
1. сл	20.75	4.28			4.21		
2. ср	23.1	3.82	3.86				
3. сл	25.2	3.52			3.57		
4. сил	26.4	3.38		3.40		3.42	
5. сл	27.5	3.24		3.29			
6. ср	27.9	3.20				3.23	
7. сил	29.3	3.05	3.04		3.06		3.11
8. сл	32.0	2.80	2.84		2.81	2.80	2.79
9. ср	33.2	2.70		2.70			
10. сл	34.1	2.65			2.64		2.62
11. сл	35.2	2.55			2.51		
12. сл	35.9	2.50	2.49	2.49			
13. ср	37.2	2.43				2.45	
14. сл	37.8	2.38		2.36	2.37		
15. сл	39.5	2.28	2.28		2.28		2.27
16. ср	40.43	2.23		2.19			
17. ср	41.4	2.13		2.10			2.13
18. сил	43.2	2.09	2.09		2.07		2.06
19. ср	46.1	1.98		1.98		1.98	
20. сил	47.6	1.91	1.91				1.94
21. сил	48.5	1.88	1.87	1.88	1.88		
22. сил	49.6	1.84			1.84	1.83	1.84
23. ср	50.1	1.82		1.82			
24. сл	50.75	1.80			1.81		
25. сл	53.25	1.72		1.74			
26. ср	56.66	1.63	1.63		1.64		
27. сил	57.5	1.60	1.60			1.61	

\* сл – слабая; ср – средняя; сил – сильная

#### Список литературы

1. Jaworowski J., Pensko J. Nature, 1976. 214. p.161.
2. Атомная энергия / Т. Гун-Аажав, Ш. Гэрбиш, О. Отгонсурэн, Ж. Сэрээтэр, Д. Чултэм, 1973. С. 130. Т. 35, вып. 2.
3. Отгонсурэн О., Перелыгин В.П., Чултэм Д. МУИС. ЭШ сонсгол мэдээ №18, 1969. С. 25. Атомная энергия том 29, вып. 4. 1970. стр. 301
4. Атомная энергия / Ж. Ганзориг, Т. Гун-Аажав, Ш. Гэрбиш, О. Отгонсурэн, Ж. Сэрээтэр, И. Чадраабал, Д. Чултэм. Г. 35, вып. 5. 1973. С. 349.
5. ОИЯИ / Я. Бразевич, Лю Зай Ик, Г. М. Осетинский, А. Пурэв, Д. Чултэм., Р 14-84-299. Дубна. 1984
6. Ньюман Е., Ньюман В. Минеральный обмен кости. М.: Мир, 1961.
7. Posner A.S., Stephenson S.R. Journal Am. Dent. A46, 257. 1953.
8. Davis B.L American Journal Science 145. 489, 1964.
9. Миркин Л.М. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М. 1961.
10. Powder Diffraction File 1974. Search manual alphabetical listing and search section of encountered phases Inorganic, Philadelphia. 1974.