

# ПалеоМир

Улыбки пермских  
акул

Палеомиры Сергея  
Красовского

Плезивоавры России



Яйца Мандрагоры  
Страсти у поверхности дна  
Петр Константинович Чудинов. Штрихи  
к портрету

Текст: Михаил Рогов, Алексей Ипполитов  
Иллюстрации: Михаил Рогов

# Климат в начале позднеюрской эпохи: свидетельствуют головоногие МОЛЛЮСКИ

Ученые-палеонтологи в своей работе руководствуются не только молотком и воображением. В ряде случаев в поисках ответов на бесконечные вопросы о прошлом Земли исследователям приходится «спускаться» до изучения минералов, слагающих раковины и кости древних животных, органических молекул, сохранившихся в них, и даже до изучения... отдельных атомов!

Самым известным примером использования именно атомов в геологии являются, пожалуй, методы определения абсолютного возраста пород (в их числе - знаменитый радиоуглеродный метод), на которых построены научные представления о возрасте Земли и длительности всех геологических периодов и эпох. А среди исследователей, работающим с ископаемыми, особым успехом пользуется метод определения палеотемператур морских вод древних

эпох, основанный на изучении соотношения двух модификаций (изотопов) атомов кислорода. Он применяется уже более пятидесяти лет, и именно о нем пойдет речь ниже.

Его разработчик - знаменитый американский химик XX века Гарольд Юри, Нобелевский лауреат по химии 1934 года (кстати, Нобелевскую премию Юри получил за открытие «тяжелого» изотопа водорода - дейтерия) и участник Манхэттенского проекта, связанного с разработкой в США атомного оружия. В 1951 году коллектив лаборатории под руководством Юри опубликовал статью, в которой была предложена методика определения температур древних морей по соотношению двух изотопов кислорода - распространенного в природе легкого  $O^{16}$  и более редкого тяжелого  $O^{18}$  в карбонате кальция ( $CaCO_3$ ), слагающем раковины ископаемых моллюсков и бра-

Изотопы (от греч.  $\text{ισος}$  — «равный», «одинаковый», и  $\text{τόπος}$  — «место») - «разновидности» атомов одного и того же химического элемента, отличающиеся массой (а точнее, количеством нейтронов). При этом, по своим химическим свойствам такие разновидности остаются практически идентичными.

Изотопы есть у большинства элементов таблицы Менделеева, однако в природе, как правило, лишь один из изотопов каждого элемента широко распространен, тогда как другие встречаются редко. Некоторые изотопы и со временем самопроизвольно распадаются (радиоактивные изотопы, именно они используются для определения возраста), другие стабильные.

Конечно, исследования изотопного состава веществ не проводятся «на глаз», а требуют очень сложного и дорогого оборудования - масс-спектрометров, приобретение и обслуживание которых сможет себе позволить далеко не каждое научное учреждение. По этой причине многие исследования, требующие изучения вещества на уровне атомов, проводятся крупными научными коллективами, включающими в себя ученых из разных стран мира.

хиопод. Юри сразу же опробовал методику на верхнемеловых раковинах из США, Англии и Дании.

Идея метода основана на том, что в зависимости от температуры в Мировом океане соотношение двух изотопов кислорода  $O^{16}$  и  $O^{18}$  меняется. Молекулы воды, содержащие легкий изотоп, легче испаряются, и чем ниже температура воды, тем менее охотно «тяжелые» молекулы переходят в пар, а следовательно, повышается концентрация тяжелого изотопа  $O^{18}$  в океане. Состоящие из карбоната кальция ( $CaCO_3$ ) раковины животных, живущих в море, как правило, имеют изотопный состав кислорода, идентичный изотопному составу воды. Соотношение изотопов  $O^{18}/O^{16}$  в природе постоянно, а потому, вычислив отклонение от «нормы» в раковинах древних моллюсков, можно довольно точно рассчитать температуру океанических вод в древнюю эпоху.

Правда, не всё так гладко и просто - на соотношение изотопов влияет и соленость, и особенности образа жизни «владельца» раковины, а также возможные вторичные

измерения раковин за время консервации в осадочных породах - например, в результате воздействия грунтовых вод. В дальнейшем формулу, предложенную Гарольдом Юри для минерала кальцита, немного уточнили, и предложили схожую формулу для расчета палеотемператур по другой модификации карбоната кальция - минералу арагониту. Кальцит является основным компонентом раковин у большинства морских беспозвоночных, а арагонит сплагает перламутровый слой раковин моллюсков.

Учитывая всё это, ученые обычно с большой осторожностью говорят об абсолютных значениях температур вод, рассчитанных по изотопам - отклонение от истины может быть весьма значительным. Пробы на изотопный состав обычно отбираются послойно с определенного интервала в разрезе, и по результатам анализов стоят кривые, которые отражают колебания температуры (похолодание-потепление) и скорость происходящих изменений.

В качестве «палеотермометров» особой популярностью пользуются ростры белем-



*Остатки головоногих моллюсков (аммонитов и белемнитов) в карьере Дубки, Саратовская область*

нитов, хотя используются также раковины аммонитов, брахиопод, фораминифер и даже зубы рыб (в последнем случае определяется изотопный состав кислорода из фосфатных минералов).

На сегодняшний день для всех регионов Земного шара проделаны десятки тысяч анализов соотношений изотопов кислорода  $O^{16}$  и  $O^{18}$ : только для юрского периода их число приближается к трем тысячам! Казалось бы, такого числа измерений вполне достаточно, чтобы иметь все данные об особенностях климата в юрском периоде. Но некоторые временные отрезки юрского периода, а также некоторые регионы, изучены слабо. В России одним из хорошо изученных интервалов является граница келловейского и оксфордского ярусов (она же - граница средней и верхней юры, ок. 161 млн. л. назад). Первые сведения, полученные по изотопному составу ростров белемнитов из Центральной России в конце

90-х годов XX века, свидетельствовали о быстром и сильном похолодании на этом временном интервале, с охлаждением температуры воды с 12 до 6-7°C. Вскоре похожие результаты были получены по данным изотопного состава кислорода в зубах рыб из Франции. Гипотеза о похолодании подтверждалась и быстрым проникновением на юг, в низкие широты, разновидностей аммонитов, обитавших в относительно холодных водах. Все это позволило в начале прошедшего десятилетия выдвинуть предположение, что похолодание, возможно, связано с кратковременным оледенением.

В то же время, сама идея об оледенении довольно плохо согласовывалась с данными о климате Арктики в конце среднеюрской эпохи. Хотя изотопных данных по полярным регионам для юры очень немного, здесь в качестве палеотермометров хорошо себя зарекомендовали своеобразные минеральные образования - глендони-



Фото С.Ю. Малевичной, 2007 г.

Польский геохимик Хуберт Вержбовки в карьере Дубки.  
2007 г.

ты, присутствие которых указывает на температуру придонных вод ниже 4°C. Глендониты часто встречаются в среднеюрских отложениях, особенно в байосском и батском ярусах (171-164 млн. л. назад) на территории Северной Сибири и Северо-Востока России, но уже в келловейском ярусе (164-161 млн. л. назад) они становятся редкими. Из пограничного интервала средней и верхней юры (того самого, для которого по территории Центральной России и Франции отмечалось предполагалось оледенение) ни одной достоверной находки нет.

палеотемператур, полученных по теплолюбивым, тетическим белемнитам (хиболиты - род *Hibolithes*) и более холодолюбивым, бореальным представителям семейства цилиндротеутид (CYLINDROTEUTHIDAE), найденными в одном слое - то есть жившими одновременно. Скорее всего, это свидетельствует о том, что разные белемниты обитали в Среднерусском юрском море преимущественно на разных глубинах: хиболиты - в толще воды, а цилиндротеутиды - ближе к поверхности дна, где температура вод была ниже. Средние температуры, полученные по рострам белемнитов, невы-

Карьер Дубки появился на картах палеонтологов во время строительства кольцевой дороги вокруг г. Саратова чуть более 10 лет назад. Почти сразу стало ясно, что этот разрез не имеет аналогов в России по полноте переходных слоев от средней к верхней юре. Поэтому в 2006 году Дубки были представлены международной рабочей группе по оксфордскому ярусу в качестве кандидата на роль мирового эталона нижней границы оксфордского яруса, так называемой «точки глобального стратотипа границы» (Global Stratotype Section and Point - GSSP). К этому времени уже были получены данные по распределению аммонитов, белемнитов, фораминифер и остракод в данном разрезе, а также его палеомагнитная характеристика, что выгодно отличало Дубки от других разрезов-кандидатов (Редклифф Пойнт в Англии и Савурнон во Франции), где по состоянию на 2006 год детально были изучены только аммониты. Роль разреза Дубки в качестве кандидата на GSSP стала причиной того, что в настоящее время этому разрезу придан ранг особо охраняемого геологического объекта. Впрочем, в последние несколько лет (2008-2010 гг.) ситуация с изученностью других разрезов-кандидатов несколько изменилась: в Редклифф Пойнт подробно описаны последовательности аммонитов, кратко охарактеризованы комплексы фораминифер и известкового наннопланктона, получена (хоть и не бесспорная) палеомагнитная характеристика, а также данные по изотопному составу раковин двустворок, белемнитов и аммонитов.

Задавшись целью выяснить, что же всё-таки случилось на рубеже средней и поздней юры, летом 2007 года российско-польская группа палеонтологов посетила местонахождение Дубки близ Саратова. Этот небольшой карьер хорошо известен любителям палеонтологии в силу присутствия здесь большого количества пиритизированных келловейских и оксфордских аммонитов прекрасной сохранности.

Данные о палеотемпературах, полученные при изучении ростров белемнитов и раковин аммонитов (раковины двустворок оказались недостаточно хорошей сохранности для изотопных исследований), получились интересными и неожиданными. Исследователям удалось выявить разницу

соки - в среднем 5 и 8°C для цилиндротеутид и хиболитесов, соответственно. Это хорошо согласуется с похолоданием в начале позднеюрской эпохи. Палеотемпературы же, рассчитанные по арагонитовым раковинам аммонитов, оказались заметно более высокими (в среднем 13 °C). Для шельфовых бассейнов юрского периода это вполне типичная ситуация: аммониты, скорее всего, обитали в основном ближе к поверхности воды, а белемниты - ближе ко дну. Полученные кривые оказались близки к изотопным данным другого очень известного разреза пограничных отложений келловей-оксфорда, разреза Редклифф Пойнт (Англия). Однако, там диапазоны температур, рассчитанных по аммонитам и белем-



*Белемниты верхнего келловея и нижнего оксфорда карьера Дубки: а-в: *Cylindroteuthidae*; г-ж: *Hibolithes* spp.*

нитам, частично перекрываются, а средние значения по рострам белемнитов (в Редклифф Пойнт присутствуют только хиболитесы) выше, чем в Дубках.

Эти изотопные кривые можно также сравнить с данными по изменениям аммонитовых комплексов - существуют специальные методы выявления похолоданий/потеплений с помощью подсчета соотношений тепловодных/холодноводных аммонитов. С пограничным интервалом келловея и оксфорда связано массо-

вое проникновение холодноводных борельных аммонитов семейства кардиоцератид (*CARDIOCERATIDAE*) далеко на юг, однако, в разных районах Европе это происходит в несколько различные моменты времени. В Дубках одно из таких событий, в самом начале оксфордского века, совпало с температурным минимумом, рассчитанным по изотопам, а другое (в конце раннего оксфорда) не было связано с изменениями палеотемператур, рассчитанных по рострам белемнитов.

Что касается предположения об оледенении на рубеже средней и поздней юры, выдвинутом западными учеными, то приток холодных вод и связанное с ним проникновение холоднотеплых аммонитов на юг необязательно указывают на оледенение. Такие изменения могли быть связаны с перестройкой характера циркуляции океанических вод - появлением в Среднерусском море течений с севера, из холодноводного Арктического бассейна. А перестройка течений, в свою очередь, была вызвана общим подъемом уровня Мирового океана на рубеже средне- и позднеюрской эпох. Таким образом, была открыта еще одна небольшая страница истории Земли - загадка похолодания в начале поздней юры.

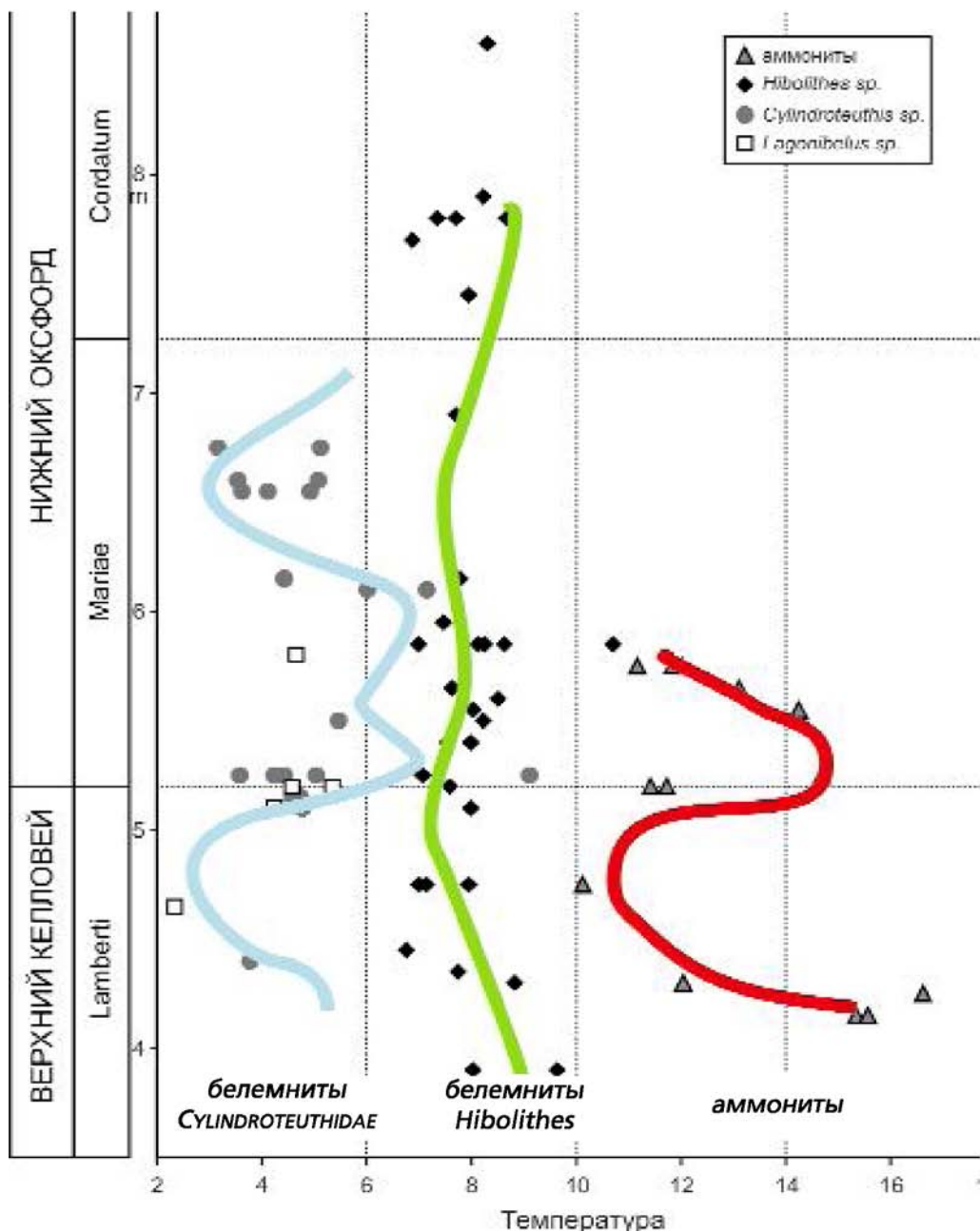
#### Литература

Барсков И.С., Кияшко С.И. (2000) *Изменения термического режима юрского морского бассейна Восточно-Европейской платформы на рубеже келловей/оксфорд по данным анализа стабильных изотопов в рострах белемнитов // Доклады Академии Наук. Т. 372. №4. С. 507-509.*

Фор Г. (1989) *Основы изотопной геологии: пер. с англ. М., Мир. 592 с.*

Dromart G., Garcia J. P., Picard S., Atrops F., Lécuyer C., Sheppard S. M. F. (2003) *Ice Age at the Middle-Late Jurassic Transition? // Earth and Planetary Science Letters. V. 213. P. 205-220.*

Wierzbowski H., Rogov M. (2011) *Reconstructing the palaeoenvironment of the*



Палеотемпературные кривые, полученные по различным группам ископаемых для пограничного интервала келловей и оксфорда в карьере Дубки

*Middle Russian Sea during the Middle-Late Jurassic transition using stable isotope ratios of cephalopod shells and variations in faunal assemblages // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 299. P.*

250-264.

С этими и другими публикациями можно на сайте «Юрская система России» <http://jurassic.ru/>.