

Вечно неживые

А.Ю.Журавлев

Природа по-своему позаботилась об ученых, интересующихся эволюцией, — в ископаемой летописи нет-нет да и встречаются удивительные по своей сохранности остатки животных и растений. И не только в многолетнемерзлых породах последних нескольких десятков тысяч лет. С вечной мерзлотой связано больше мифов, чем реальных находок. Наиболее известные элементы мифотворчества — легенды о гигантских кладбищах застывших во льдах мамонтов. Сохранность их мягких тканей якобы такова, что хоть сейчас бери яйцеклетку (вариант — сперму) и имплантируй живой слонихе (оплодотворяя ее), чтобы получить густошерстный и высокоудойный молодой. Известны легенды и о «вмороженных пальмовых и сливовых деревьях с зелеными листьями и даже спелыми плодами», причем все эти пальмы и сливы в креационистских трудах с каждым годом становятся все равесистее.

Говорят, что дал приплод как-то мамонт, вмерзший в лед

Ныне в СМИ почему-то муссируются слухи о массовых захоронениях мамонтов и других животных, мгновенно погибших под волнами Всемирного потопа. В значительной степени рождению нездоровой сенсации поспособствовал хатангский «мамонт» Б.Бюига. В самом

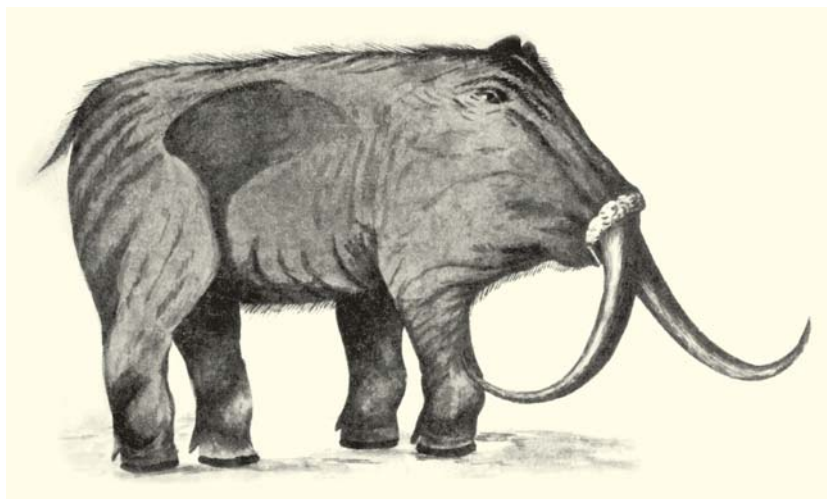


Андрей Юрьевич Журавлев, доктор биологических наук, специалист в области палеонтологии кембрия. Был ведущим научным сотрудником Палеонтологического института РАН, сейчас сотрудничает с Университетом Сарагосы (Испания). Монографии: «*The Ecology of the Cambrian Radiation*» (в соавторстве с Р.Пайдингом; N.Y., 2000), «*Atlas of the Evolving Earth*» (Detroit, 2001), «*До и после динозавров*» (М., 2006). Постоянный автор «Природы».

конце прошлого века весь мир облетели потрясающие кинокадры — на подвеске огромного вертолета, застывшего над бескрайней заснеженной тундрой Таймыра, повисла многотонная ледяная глыба с торчащими из нее бивнями. Газетчики и тележурналисты бодро вещали, что кроме первой, уже добытой, туши мамонта, с помощью радара и другой новейшей аппаратуры обнаружено еще не менее шести мамонтовых и носорожьих трупов... На самом деле французский авантюрист Бюиг по случаю купил у местного охотника два неплохих бивня. Вывезти их из России законным путем он не мог, потому и была придумана история, раздутая двумя французскими и одной японской телекомпаниями и популярным американским каналом Discovery. Сообщалось о якобы целых, нетронутых тленом, телах, которые необходимо срочно доставить в Японию для извлечения яйцеклеток (спермы) ну и т.д. По сценарию, чтобы со-

здать необходимый эффект, бивни вморозили в лед и подцепили ледину вертолетом...

Причина гибели каждого из немногих относительно неплохо сохранившихся мамонтов, живших в разное время между 50 и 10 тыс. лет назад, была своя. Знаменитый березовский мамонт, видимо, попал в естественную ловушку — проталину в мерзлом грунте, где он сломал кости таза и плеча и почти сразу умер. Свидетельство тому — неразжеванные пучки травы во рту. Киргилыхский мамонтенок Дима отстал от стада (он хромал и страдал от сильного заражения паразитическими червями), заблудившись в ледниковых каньонах, куда его соплеменники приходили передохнуть от гнуса, и погиб от голода (найден среди ископаемых тарынов, или наледей, а его желудок и кишечник были пусты). Один из ямальских мамонят, всего двух-трех месяцев от роду, утонул в холодном приледниковом болоте (его шкура покрылась ми-



Первая найденная мумия мамонта (дельта р. Лены).
Зарисовка купца Р. Болтунова.

нералом вивианитом, характерным для торфяников) [1]. Объединяет всех относительно целых мамонтов только одно обстоятельство — каждый сразу оказался в естественном холодильнике. Что касается их сохранности, то и она «несколько сильно» преувеличена. Несмотря на неплохой внешний вид, у мерзлых туш более-менее сохраняются только покровные и соединительные

ткани. Не удалось даже наскрести достаточно материала для анализа ДНК (которую, кстати, предпочтительнее добывать из бивней и волос, а отнюдь не из мягких тканей), чтобы установить, с каким современным слоним мамонт находится в более близком родстве — с африканским или индийским.

Несмотря на все эти «но», мерзлые туши представляют со-

бой редчайший и важнейший ископаемый материал. Впрочем, не только многолетнемерзлые породы способны сохранить уникальные палеонтологические объекты.

Неплохо сберегает древности и горный воск, озокерит, — вещество, действительно напоминающее по составу воск: оно содержит парафины, а также жидкие нефтяные масла, смолы и газообразные углеводороды. Неудивительно, что животное, попавшее в озокеритовое болото, подвергается естественному бальзамированию. Природными ловушками-саркофагами, которые в течение сотен лет накапливали своих жертв, были и озера со смолистым (гудроновым) придонным слоем. Завязнув в нем, животное не могло уже выбраться, а смолы предохраняли тушку от падалядов и гниения (окисления). Наиболее известные ископаемые гудроновые озера — мессельское в Германии (эоцен, 50 млн лет) и Ранчо Ла-Брея на западе США (плейстоцен, 100 тыс. лет). В первом из них сохранились плоды цитрусовых деревьев, пальмы, водяные лилии; летучие мыши с «крыльями» и полным желудком; древнейшие муравьед и панголин. (Их остатки свидетельствуют о том, что эти группы млекопитающих произошли в Европе. Ныне же муравьеды обитают только в Центральной и Южной Америке, а панголины — в Африке и Юго-Восточной Азии.) Найден в Мессельском карьере один из лошадиных предков, ростом с комнатную собачку, имевший по четыре копытца на каждой ноге и питавшийся исключительно сочными древесными плодами, и необычные насекомоядные — лептиктидии, бегавшие на задних лапах (30 см высотой). Блестевшая под солнечными лучами поверхность гудронового озера Ла-Брея особенно привлекала перелетных птиц. Ныне оттуда уже описано больше 100 видов пернатых, а кроме них — крупные обитатели североамериканской прерии: масто-



Муმიфицированная голова Юкагирского мамонта.
Копия, Музей мамонта в Якутске.



Более чем 100-летний амбар для хранения мяса (Якутия). За счет эффекта вечной мерзлоты оно сохраняется даже при наружной температуре $+35^{\circ}\text{C}$.

донты, бизоны, саблезубые смилодоны (скелетные остатки последних, польстившихся на легкую добычу, особенно обильны).

К смолистым веществам, прекрасно сохраняющим ископаемые остатки, относится янтарь — окаменевшая смола хвойных деревьев. Причиной тому служат плотная укупорка, предотвращающая доступ кислорода к тканям, и обеззараживающие свойства химических соединений в составе янтаря — высокомолекулярных органических кислот. (Эти свойства издревле известны и человеку: египтяне использовали янтарь для бальзамирования мумий, а китайцы покрывали им деревянные поделки для лучшей сохранности.) Благодаря находкам в янтаре открыты

тысячи ископаемых видов целиком сохранившихся одноклеточных организмов, грибов, растений и животных, особенно много насекомых. «Забальзамированы» также редчайшие в палеонтологической летописи паразитические круглые черви и волосатики вместе со своими хозяевами, онихофоры, клещи, пауки. Конечно, возможности янтарных «захоронений» не бесконечны. Сохраняются только не слишком крупные организмы, обитавшие на определенных видах деревьев, существовавших в основном в середине раннего мела — конце эоцена (135—38 млн лет назад). Вероятно, это были представители семейств кипарисовых и таксодиевых (болотных кипарисов), близких

к «живому ископаемому» — метасеквойе. Недавно древнейший янтарь, видимо, произведенный вымершими примитивными хвойными из семейства хейролепидиевых, нашли в верхнетриасовых отложениях (220 млн лет) итальянских Долмитовых Альп. Янтарные капельки не превышают нескольких миллиметров в поперечнике, потому и организмы они содержат лишь самые мелкие. Но зато там находится целое микросообщество почти в трофической полноте, т.е. с продуцентами (бактерии и одноклеточные зеленые водоросли), консументами (ресничные инфузории, древнейшие наземные раковинные амебы) и редуцентами (паразитические сумчатые грибы) [2].



Испанское местонахождение Муреро (Арагон).

Иногда из организмов, застывших в янтаре, удается извлечь и фрагменты ДНК. Однако история, запечатленная М.Крайтоном в «Парке юрского периода» и С.Спилбергом в одноименном фильме, навсегда останется фантастикой — слишком незначительны эти участки ДНК и недостаточно хороша их сохранность.

Керамические трилобиты

Более древние, чем мезозойские, остатки (и целый ряд мезо-кайнозойских тоже) мягкотелых организмов связаны с необычными условиями захоронения и преобразования тканей и клеток. Один из таких процессов — пиритизация, образование слепков мягких тканей жи-

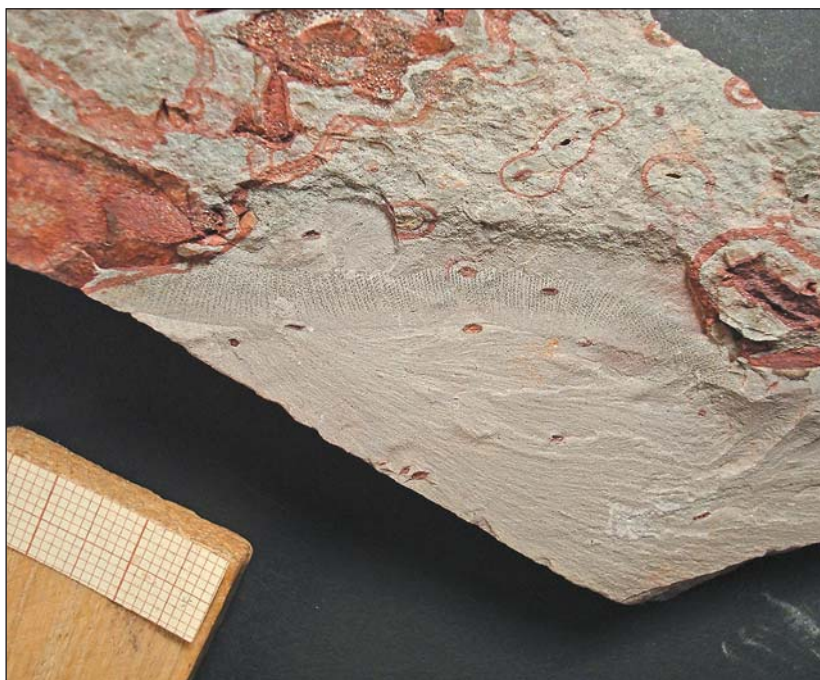
вотного. Слепки эти «выполнены» кристаллами пирита (серного колчедана). Оба элемента минерала, сера и железо, содержатся в тканях в достаточном количестве. Важно, чтобы сам организм сразу после смерти оказался в среде, куда нет доступа кислороду и где процветают серные бактерии. Они-то и связывают эти элементы, образуя зерна пирита, которые дальше развиваются в кубические или ромбоэдрические кристаллы. Когда осадок уже становится горной породой, пирит окисляется, превращаясь в различные окислы и гидроокислы железа, но форма кристаллов сохраняется, а с ней и форма всего тела. Благодаря пиритизации в верхнеордовикском слое Бичера (штат Нью-Йорк) уцелели в виде слепков вымершие чле-

нистоногие — трилобиты со всеми их многочисленными конечностями, а в нижнедевонском сланце Хунсрюк (Германия) — гигантские пантоподы [3]. Самые «свежие» пиритизированные ископаемые обнаружены в железных рудниках Европы — это тела упавших в шахты древних рудокопов.

Нередко остатки морских организмов подвергаются фосфатизации — замещению тканей минеральными соединениями. Так сохраняются небольшие организмы (мелкие членистоногие, пятиустки, тихоходки) и их личинки, даже мельчайшие щетинки и поры (не более 1 мкм величиной), но... только фрагменты конечностей (менее 2 мм размером) крупных особей [3]. Источник самого фосфата может быть внешним, когда он вымыва-

ется с поверхности суши. Прибрежные морские воды насыщаются этим соединением, и образуются захоронения того же типа, что в кембрийском местонахождении Эрстен (Швеция), давшем название такому типу минерализации. А открыл его немецкий палеонтолог К.Мюллер в 1960-е годы. Источник внутренний — это мягкие ткани, они содержат достаточно фосфата. Опыты показывают, что если животное быстро гибнет в бескислородной среде, сохранности его остатков способствуют анаэробные бактерии. Как раз они поддерживают условия, благоприятные для роста мельчайших кристалликов фосфатных минералов — в основном апатита. Этими кристалликами в течение короткого времени (от нескольких часов до первых недель) обрастают липопротеиновые покровы организма, создавая его точный полый слепок [4]. За счет фосфатизации сохранились даже ископаемые эмбрионы и личинки, на которых можно подсчитать количество бластомеров, проследить характер дробления и начальные стадии развития организма [5]. Важнейшие местонахождения таких остатков — в Южном Китае, Северной Монголии и Восточной Сибири (нижнекембрийские отложения, около 540 млн лет). Найденные фосфатизированные эмбрионы принадлежали головохоботным червям и кишечноротовым. В небольших фосфатных стяжениях (конкрециях) слепки организмов встречаются и в более поздних кембрийских и нижнеордовикских слоях.

Характер минерализации в них другой, вероятно, за счет анаэробных бактерий, мобилизующих фосфаты из мягких тканей самого животного. Их постепенный распад протекает с поглощением кислорода и повышением кислотности, что мешает осаждению карбонатов и благоприятствует развитию бактерий. Так что, как ни парадоксально, в подобных условиях разложение мягкого тела и служит при-



Глиняный головохоботный червь. Хлорит, 500 млн лет.

чиной его сохранения. В отличие от мелких внешних фосфатных слепков, как в местонахождении Эрстен, получаются полные реплики отдельных клеток, тканей и органов. Особенно хороши реплики сарколеммы (чехлов, покрывающих мускульные волокна) и коллагеновых воло-

кон, при жизни содержавших немало фосфора. Иногда фосфатируются и клетки самих бактерий. Известнейшие из таких местонахождений — верхнеюрский известняк Зольнхофен (около 145 млн лет) в Германии, в котором найден археоптерикс, и нижнемеловая формация Санта-



Глиняный отпечаток кембрийского иглокожего. Хлорит, 500 млн лет.



Глиняный трилобит. Хлорит и иллит, 500 млн лет.

на (примерно 115 млн лет) на северо-востоке Бразилии. Там в виде фосфатных копий уцелели разнообразные летающие ящеры с летательными перепонками и рыбы со всей чешуей.

Третий вариант посмертной минерализации организмов получил подтверждение лишь в последние годы, хотя сами местонахождения подобного типа были выявлены ровно 100 лет назад. Честь открытия первого из них принадлежит американскому палеонтологу Ч.Уолкотту

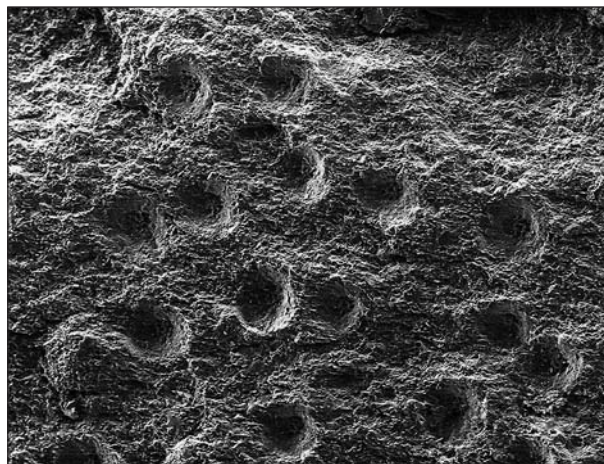
(в этом году прямо на месте открытия прошел международный симпозиум, посвященный первооткрывателю и его необычным организмам). Работая в диких заснеженных горах западной Канады, он обнаружил в среднекембрийском сланце Берджесс необычайно полные отпечатки разных, как тогда представлялось, водорослей, губок, медуз, кольчатых червей и членистоногих. Их подробные описания исследователь опубликовал в нескольких объемистых

книгах. В 1970-е годы на поразительную сохранность этих организмов обратил внимание английский палеонтолог Г.Уиттингтон. Ему удалось организовать многолетнюю экспедицию в местонахождение Берджесс, поддержанную Кембриджским университетом и Канадской геологической службой. Участники этой эпопеи не только собрали десятки тысяч новых образцов и описали множество неизвестных видов. Они иначе взглянули на находки Уолкотта и выявили некоторые закономерности образования захоронений, подобных берджесскому. Теперь такие лагерштетты (по-русски — залежные места) обнаружены по всей Северной Америке, в Австралии, Китае, России и Испании. Наиболее интересные среди них — Сириус-Пассет в Гренландии (самое древнее), Чендзян в Китае (самое богатое), Синское в Сибири (самое необычное) и Муреро в испанском Арагоне (самое продолжительное по времени). Удивительно, что все они приурочены к незначительному временному интервалу, названному кембрийским тафономическим окном. Это середина раннекембрийской — середина среднекембрийской эпохи (около 520—500 млн лет назад).

Когда был переосмыслен «бестиарий» Уолкотта, выяснилось, что остатков кишечнорастных в сланце Берджесс нет.



Замещенный хлоритом коллаген.



Деталь покрова головохоботного червя. Хлорит.

То, что американский палеонтолог счел за медуз, не имело к ним никакого отношения. Они оказались либо ротовыми дисками необычных и огромных по меркам кембрийского мира (до 1 м в длину) хищников аномалокаринид, либо странными планктонными вторичноротыми животными — парасонемидами (впрочем, не исключена их принадлежность к лофофоратам). А «кольчатые черви» Уолкотта в новом свете предстали в основном головохоботными червями и тардиполиподами. Эти многоногие животные несколько напоминали современных онихофор и тихоходок*. Кроме того, в кембрийских лагерштеттах действительно присутствуют целые талломы разных водорослей, скелеты спикульных губок, брахиоподы с ножками и чувствительными щетинками, разнообразными членистоногие с конечностями и органами пищеварения (иногда наполненными остатками последней трапезы), а также отпечатки древнейших гребневиков, щетинкочелюстных и хордовых. Объединяет все эти организмы одно: у них есть достаточно прочные покровы, которые и предохраняют тела от быстрого распада. Именно с массового распространения подобных организмов в середине раннекембрийской эпохи началось образование таких же, как берджесский, лагерштеттов.

Кроме того, все эти местонахождения приурочены к относительно глубоководным морским отложениям, состоящим из очень мелких, микроскопических, обломков и глинистых частиц. Последние служили своеобразным упаковочным материалом. А кембрийские морские глубины с пониженным содержанием растворенного кислорода еще не были освоены роющими организмами. Такие животные в считанные дни способны переработать современные

* Подробнее о необычных кембрийских животных см.: Журавлев А.Ю. Тени закрытых предков // Природа. 2009. №3. С.22—29.

морские осадки так, что почти ничего целого в них не остается. Роющие организмы добрались туда только к концу кембрийского периода, что и стало одной из причин исчезновения лагерштеттов, подобных берджесскому. Но, вероятно, не главной причиной. Ведь эти остатки были не просто отпечатками. Долгое время на вопрос о минералогическом составе ископаемых из сланца Берджесс ответа найти не удавалось. Сланец подвергся заметным минералогическим превращениям в результате метаморфизма, и ныне эти ископаемые представляют собой углистые образования, покрытые слюдястой или кварцевой корочкой [6, 7]. Однако когда подобные остатки из испанского местонахождения Муреро были изучены, выяснилось, что и покровные ткани, и раковины (вплоть до их до тончайших деталей) состоят из разных глинистых минералов. В основном это призмы зеленого хлорита и шестоватые кристаллы серебристого иллита, какие именно минералы, зависит от исходной морфологии ткани [8].

Вероятно, и эти минералы не первичны, а являют собой результат замещения менее устойчивых глин верденевого комплекса в процессе превращения морского осадка в горную породу. Сами же эти глины образуются в морских условиях и часто обволакивают скелетные и мягкие ткани умерших морских организмов. Нужно только, чтобы их перекрыл хотя бы незначительный слой глинистого осадка и установилась анаэробная среда, благоприятная для бактерий. Они-то и ускоряют новообразование глинистых минералов, поскольку электростатический заряд клеточной оболочки и выделяемые бактериями полисахариды способствуют быстрой коагуляции глин [9—11]. Вместо организма получается его глинистый слепок приятно-изумрудно-зеленого или серебристого цвета, своего рода природная керамика.

Во всех случаях минерализации (с образованием пирита, фосфатных и глинистых минералов) участвовали бактерии. Они получали достаточно энергии при окислении неорганических соединений — фосфатов (эрстен, Зольнхофен, Сантана) или окислов железа (Берджесс, слой Бичера, Хунсрюк) и других металлов. Именно от источника энергии зависел характер минерализации организмов.

Кровь динозавра и прочие курьезы

Интересно, что иногда очень быстрый распад мягких тканей благоприятствует сохранности деталей тела животного в окаменевшем состоянии. Так уцелели всевозможные древнейшие наземные членистоногие, многощетинковые черви и другие микроскопические организмы в нижнесилурийских отложениях (около 425 млн лет) Херефордшира (Англия). Тельца были буквально выжжены вулканическим пеплом (подобно телам людей, погибших в Помпеях при извержении Везувия в 79 г.), а оставшиеся полости мгновенно заполнил известковый раствор, со временем превратившийся в крепкий кальцит.

Еще интереснее случай с лягушками, некогда (примерно 10 млн лет назад) квакавшими в болотах Арагона. Болота эти располагались рядом с залежами самородной серы, судя по типу кристаллов, бактериального происхождения. (Когда рыли карьер для добычи серы, и нашли лягушек; ныне он, к сожалению, затоплен.) Мертвые лягушки, а также саламандры, попали в придонный ил, насыщенный серой, и этот элемент прореагировал с самой неустойчивой тканью — костным мозгом. В результате сохранилась даже его клеточная структура. Размер пор в костях взрослых особей достаточен для проникновения ионов серы, но слишком мал, чтобы туда попали бактерии.

Поэтому у личинок с еще недостаточно развитыми костями, а также в поврежденных костях подобное замещение не произошло [12]. Мягкие ткани, не защищенные костной оболочкой, сохранились только в виде своего рода посмертной маски из фосфатной пленки, созданной на коже бактериями, или полностью исчезли. Красновато-желтый цвет минерального соединения серы с железом, содержавшимся в гемоглобине, придает лягушачьему костному мозгу особенно свежий вид, хотя это только камень.

Нечто похожее случилось с остатками самого известного хищного динозавра — тираннозавра из формации Хелл-Крик (шт. Монтана), в которой захоронены скелетные фрагменты одних из последних динозавров (около 68 млн лет). Мощные, сильно минерализованные, кости подобных крупных животных представляют собой своеобразные герметичные контейнеры. В них некоторые органические соединения и образованные ими структуры, защищенные от доступа кислорода, могут храниться десятки миллионов лет. Формация представляет собой русловые песчаные отложения, накопившиеся в речном эстуарии. Попавшие в них костные остатки были быстро перекрыты наносами и благодаря пористости песчаников обезводились. Потому и сохранились гораздо лучше, чем в подстилающих и перекрывающих глинах. Именно из песчаников извлечены бедренная и большеберцовая кости молодого тираннозавра (судя по кольцам нарастания, ему в момент гибели было примерно 18 лет). Группа американских палеонтологов под руководством М.Швейцера обнаружила в серцевинной части этих костей кровеносные сосуды с мельчайшими тельцами. Формой, размером и цветом они напоминали клетки крови, а также костные клетки — остециты. После растворения

минеральной составляющей сосуды стали прозрачными, объемными и эластичными: они растягивались, скручивались, сжимались, словно свежие анатомические препараты [13, 14]. А в костной ткани сохранились вполне определимые фрагменты белка-коллагена, по составу более всего напомилавшего птичий (впрочем, сравнение с аналогичными белками каких-либо пресмыкающихся пока не проводилось) [15].

Ученые пытались заглянуть внутрь костей еще во времена профессора Челленджера (героя нескольких произведений Конан Дойла), но лишь техника XXI в. позволила рассмотреть, что там внутри. Однако вряд ли стоит рассчитывать на множественные повторения подобных находок: каждая формация уникальна в своей истории, от времени образования до того момента, когда геологические силы вновь вскроют пласты. Да и кости того же динозавра, которые пролежали извлеченными из породы всего два года, уже почти лишились своей органики. Впрочем, это не значит, что дальнейшие поиски подобных объектов бессмысленны. Коллаген, структурно представляющий собой тройную полимерную спираль с правильным, как в кристаллах, расположением атомов, — один из самых устойчивых белков и вообще органических соединений [16, 17]. Из коллагена, например, построены трубки червей вентифер, живущих рядом с горячими глубоководными источниками. Фрагменты этого белка вполне могли сохраниться в костных остатках молодого тираннозавра за счет полимеризации в бескислородных условиях с участием свободных радикалов, например ионов железа, обильных в кровеносных органах. (Эти же ионы окрашивают и кровь, и некоторые минералы в красный цвет.) После стабилизации молекулярных фрагментов их дальнейший распад прекращается. (То же

происходит и с белком крови — гемоглобином. Он легко кристаллизуется, а железосодержащее порфириновое кольцо этой полимерной молекулы практически неуничтожимо — такие продукты распада гемоглобина были извлечены из кости другого ящера.) В эластичности подобных структур тоже ничего странного нет — упругость проявляют и скелеты вымерших полухордовых граптолитов, которым 440 млн лет, хотя совершенно никакой первичной органики в них не осталось. Есть только вторичные полимеры, претерпевшие значительную полимеризацию в недрах Земли. А стоит ли удивляться тому, что целлофан и через сотни миллионов лет будет прозрачным и растяжимым? Особенно если его заключить в минеральную пленку, а затем, спустя миллионы лет, растворить ее. Это, вероятно, и произошло со стенками кровеносных сосудов динозавра [14].

На первый взгляд список уникальных захоронений кажется набором курьезов. Это далеко не так.

Во-первых, такие термины, как «мягкие ткани», «клетки» и «органические молекулы», в применении к палеонтологии (кроме мерзлых туш) не стоит понимать буквально. В химии ведь термин «органическое вещество» совсем не означает, что это вещество было произведено организмом или добыто из него. Речь идет о минеральных образованиях, замещающих или реплицирующих первично неминерализованные компоненты тела с сохранением их формы, а иногда даже цвета и некоторых химических особенностей. Органические полимеры — тоже минеральные образования, причем их структура правильнее, чем у некоторых неорганических минералов.

Во-вторых, большинство хорошо сохранившихся организмов погибло, а не умерло своей смертью. И погибли они внезапно — в ледяной или смоляной

ловушке, в полноводной реке (динозавры из Хелл-Крик), под пеплопадом (Херефордшир), в серных эманациях (земноводные Арагона) или под мутьевым облаком (кембрийские лагерштетты). По этой причине и захоронение их произошло достаточно быстро, а осадочный покров надежно защитил мертвые тела от хищников и падальщиков, способных в считанные дни полностью уничтожить любые трупы. Сам осадок, как правило, — хороший упаковочный материал, хотя мелкие организмы прежде или попадали в смолу, или были «пересыпаны» мельчайшими частицами, а для гигантских динозавровых костей годился и хорошо промытый песок. Органика, запрятанная в костях, оказывалась в двойной оболочке. Плотная упаковка предотвращала доступ кислорода и тем самым мешала гниению, но позволяла совершать свою работу различным анаэробным бактериальным сообществам. Благодаря им происходила полимеризация органических молекул и/или осаждение минералов, создающих слепки. Минералы тоже образовывались не любые, а на основе тех элементов, которые изначально содержатся в любом те-

ле. Это сера и железо (пирит), фосфор и кальций (апатит), железо, магний, калий и натрий (глинистые минералы). Недостаточные компоненты добывались из окружающей среды — морской воды и минеральных растворов, циркулирующих в осадке.

Не случайно открывались и закрывались разные тафономические окна. Кембрийское тафономическое окно закрылось примерно в то время, когда перестали образовываться фосфатизированные слепки, подобные тем, что имеются в местонахождении Эрстен. И это совпадение вполне закономерно. Именно тогда на смену холодной раннекембрийской эпохе пришла первая фанерозойская парниковая эра, продлившаяся до начала каменноугольного периода. Поменялся характер выветривания на суше, а это привело к поступлению в морские осадки иных элементов, не столь благоприятных для образования фосфоритов и определенных глинистых минералов [18]. Лишь в редких случаях, когда вновь наступали холодные времена, появлялись лагерштетты, напоминающие кембрийские. Например, верхнеордовикский сланец Сум в Южной

Африке (около 445 млн лет), где сохранились полные отпечатки гигантских конодонтов, выполненные глинистыми минералами и алунином (водным сульфатом) [19]. В мезо-кайнозойское время подобная минерализация происходила только в озерных отложениях. Возможно, именно так сохраняются отпечатки шкуры некоторых динозавров — во всяком случае это не мумии. К сожалению, тафономия многих уникальных мезозойских озерных отложений еще не изучена [20].

Именно тафономия (буквально — законы погребения) занимается поиском закономерностей в захоронении различных организмов. (Отсюда, кстати, и выражение «тафономическое окно».) Впервые ввел в обиход данное понятие и основал саму науку, находящуюся на стыке палеонтологии, геологии, гео- и биохимии, советский ученый и писатель И.А.Ефремов в 1940-е годы. Он определял эту науку так: «тафономия — это изучение перехода органических остатков из биосферы в литосферу». Эту мысль можно выразить и по-другому: тафономия — это изучение перехода от биологической сиюминутности в геологическую вечность. ■

Литература

1. Тихонов А.Н. Мамонт. М.; СПб., 2005.
2. Schmidt A.R. et al. // Nature. 2006. V.444. P.835.
3. Maas A. et al. // Palaeoworld. 2006. V.15. P.266—282.
4. Briggs D.E.G. // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2003. V.31. P.275—301.
5. Donoghue P.C.J. et al. // Evolution & Development. 2006. V.8. P.232—238.
6. Gaines R.R. et al. // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2005. V.220. P.193—205.
7. Butterfield N.J. et al. // Palaeontology. 2007. V.50. P.537—543.
8. Zhuravlev A.Yu. et al. // Internat. Conf. Cambrian Explosion, Walcott 2009. P.32—33.
9. Konhauser K.O., Urrutia M.M. // Chemical Geol. 1999. V.161. P.399—413.
10. Kim J.-W. et al. // Clays and Clay Minerals. 2005. V.53. P.572—579.
11. Jaisi D.P. et al. // Clays and Clay Minerals. 2007. V.55. P.96—107.
12. McNamara M.E. et al. // Geology. 2006. V.34. P.641—644.
13. Schweitzer M.H. et al. // Science. 2005. V.307. P.1952—1955.
14. Schweitzer M.H. et al. // Proc. R. Soc. B. 2007. V.274. P.183—197.
15. Schweitzer M.H. et al. // Science. 2005. V.308. P.1456—1460.
16. Bann J.G., Büchinger H.P. // J. Biol. Chemistry. 2000. V.275. P.24466—24469.
17. Schumacher M. et al. // J. Biol. Chemistry. 2005. V.280. P.20397—20403.
18. Zhuravlev A.Yu., Wood R.A. // Geology. 2008. V.36. P.923—926.
19. Gabbott S.E. et al. // Proc. Yorkshire Geol. Soc. 2001. V.53. P.237—244.
20. Shcherbakov D.E. // Alavesia. 2008. V.2. P.113—124.