

МОЛЕКУЛЫ СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ О ПРОШЛОМ

В. А. СТОНИК

Дальневосточный государственный университет, Владивосток

MOLECULES REVEAL THE PAST

V. A. STONIK

Some results obtained by means of molecular archaeology, molecular anthropology and molecular paleontology are discussed. Further, we give application examples of the geobio-marker approach to the study of climate and origin of certain minerals.

Обсуждены некоторые результаты, полученные методами молекулярной археологии, молекулярной антропологии и молекулярной палеонтологии. Даны примеры применения подхода, основанного на использовании геобиомаркеров, для изучения климата и происхождения некоторых полезных ископаемых.

www.issep.rssi.ru

ВВЕДЕНИЕ

Один из основных методов изучения давно минувших событий состоит в сравнительном исследовании ископаемых остатков и различных археологических памятников (древние предметы, погребения и изображения) с обязательным их датированием. Чаще всего для определения возраста остатков применяют радиоуглеродный или иной геохронометрический метод. Начиная с 70–80-х годов XX века развивается новый подход к изучению прошлого. Показано, что интересную информацию может дать изучение биомолекул, вернее, продуктов их долговременных превращений (диагенеза) из самих ископаемых остатков и осадочных пород, в которых они захоронены.

ЧТО ПРОИСХОДИТ С БИОМОЛЕКУЛАМИ ПОСЛЕ СМЕРТИ ОРГАНИЗМОВ

Биомолекулы можно разделить на две большие группы: первичные метаболиты и вторичные метаболиты. К первой группе относятся соединения, присутствующие во всех или по крайней мере в большинстве организмов, в основном это биополимеры. К вторичным метаболитам принято относить молекулы более ограниченного распространения, которые могут быть найдены в одной или нескольких группах организмов, а иногда и в одном только виде. Вторичными являются главным образом низкомолекулярные метаболиты.

Соответствующие биополимерные первичные метаболиты из разных организмов, несмотря на один и тот же план строения и сходные биологические функции, отличаются друг от друга в основном последовательностью образующих эти вещества мономеров. Чем ближе так называемое филогенетическое родство организмов, тем больше сходства в их биополимерных молекулах. Если бы эти молекулы, в особенности молекулы ДНК, сохранялись без изменений в археологических и палеонтологических остатках, то можно было бы достаточно точно определить происхождение того или иного вида, в том числе биологическую историю *Homo sapiens* и составляющих этот вид рас и народов. Более того, сохранившиеся молекулы ДНК открывали бы

перспективу восстановления утраченных видов, а если бы удалось выделить только фрагменты этих молекул (гены), можно было бы попытаться наблюдать отдельные признаки давно вымерших организмов, встраивая эти участки ДНК в генетический материал других видов. К сожалению, биомолекулы претерпевают драматические постмортальные изменения, и даже в тех редчайших случаях, когда тела живых организмов относительно хорошо сохранились, в них можно найти только небольшие осколки биополимеров. Во-первых, после гибели клеток их лизосомальные и другие ферменты расщепляют биополимерные молекулы. Это явление называют автолизом. Для автолиза нужна водная среда, и в быстро подсыхающих участках, например в покровных тканях, он протекает с меньшей глубиной, чем в других органах и тканях. Во-вторых, биополимеры перевариваются микро- и макроорганизмами — трупоядами. Наконец, значительные изменения претерпевают биополимеры в результате окисления или, наоборот, восстановления, если они захоронены в местах, где отсутствует кислород. Например, в молекулах нуклеиновых кислот происходит разрыв цепей, отщепляются некоторые азотистые основания, остатки этих молекул сшиваются между собой. Сравнительно крупные фрагменты ДНК (более 200 пар нуклеотидов) сохраняются, как правило, недолго. В то же время известны и счастливые исключения, когда удавалось найти более или менее крупные фрагменты этих молекул в остатках организмов, захороненных миллионы лет назад (в насекомых, заключенных в янтаре, листьях магнолии из некоторых осадочных пород, костях вымерших животных и птиц). Претерпевают существенные изменения и молекулы вторичных метаболитов. Чаще всего они теряют функциональные группы и восстанавливаются. Если захоронения подвергаются действию высоких температур, то образуются конденсированные ароматические фрагменты. Несмотря на это, скелетные системы некоторых вторичных метаболитов могут сохраняться в продуктах их долговременной трансформации в течение многих миллионов лет.

КАК ИЗ НЕБОЛЬШОГО КОЛИЧЕСТВА ДРЕВНЕЙ ДНК ПОЛУЧИТЬ КОЛИЧЕСТВО, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первые попытки выделить ДНК из археологических памятников сделал Сванте Паабо из Университета Уппсала (Швеция) в начале 80-х годов XX века, изучив кусочки из 23 древнеегипетских мумий, принадлежащих музею Берлина. Ему удалось найти в них фрагменты двухцепочечной ДНК длиной в одну-две сотни пар нуклеотидов, однако небольшое количество этих веществ не позволило продолжить исследование. Широкий поиск и интенсивное изучение древних ДНК нача-

лись после открытия в 1983 году Кэри Мюллісом метода полимеразной цепной реакции (ПЦР), позволяющего в короткое время сделать с одного фрагмента ДНК огромное множество его копий [1]. Метод состоит в использовании для копирования ДНК биохимических реакций, протекающих при удвоении ДНК перед делением клеток (репликации). Для того чтобы на ДНК-матрице начался синтез новых ДНК, необходимы расплетение двухцепочечной ДНК и присоединение к каждой из образовавшихся одноцепочечных ДНК своего рода затравки — короткого олигонуклеотида, так называемого праймера. Во время копирования ДНК методом ПЦР синтез копийной ДНК на ДНК-матрице проводят в пробирке, куда добавлены фермент Таq-полимераза, впервые описанный российским ученым С.И. Городецким, трифосфаты нуклеозидов, праймеры, комплементарные какому-то участку матрицы, и, наконец, сам фрагмент ДНК, который требуется амплифицировать, то есть получить множество его копий. Раствор помещают в специальный аппарат — амплификатор, попеременно то нагревающий, то охлаждающий содержимое пробирки. При нагревании происходит образование из двухцепочечной ДНК двух одноцепочечных молекул. Затем смесь охлаждают, и происходят присоединение к каждой из одноцепочечных матриц заранее синтезированных праймеров и биосинтез двух новых копий ДНК. При каждом новом цикле нагревание—охлаждение количество ДНК в пробирке удваивается.

Никто не знает, насколько далеко можно зайти по следу древних ДНК.

Аллан Уилсон

О ЕВЕ, НЕАНДЕРТАЛЬЦАХ И ДР.

Как только появилась возможность размножать следовые количества древних ДНК, начался поиск хорошо сохранившихся остатков, которые могли бы быть исходным материалом для их выделения. Что может дать изучение таких ДНК? Прежде всего решить многие загадки происхождения человека. Недавно во многих изданиях оживленно комментировались работы, выполненные А. Уилсоном и сотрудниками из Калифорнийского университета в Беркли. В них на основании сравнительного анализа митохондриальных ДНК (мтДНК), принадлежащих представителям различных народов, был сделан вывод о том, что все ныне живущие люди являются потомками по материнской линии одной женщины (условно ее назвали Евой) [2]. Такое заключение было основано на том, что мтДНК передается без изменений от матери к дочери. Отцовский генетический материал не влияет на мтДНК (совсем недавно появились серьезные сомнения по этому поводу) в

отличие от ядерной ДНК, где вклад отца и матери практически одинаков. Все изменения, которые могут быть обнаружены при сравнении мтДНК разных людей, связаны в основном со случайными нейтральными мутациями (мутация — изменение последовательности нуклеотидов, вызванное ошибками при копировании, действием облучения или другими причинами). Известно, что люди и человекообразные обезьяны имели общих предков. Расхождение филогенетических ветвей, соответствующих человеку и шимпанзе, произошло приблизительно 5 млн лет назад. Сравнение мтДНК человека и шимпанзе обнаружило приблизительно в 30 раз больше различий, вызванных мутациями, чем у представителей самых разных народов. Можно было сделать вывод, что люди как биологический вид появились 5 000 000 : 30, то есть приблизительно 150–180 тыс. лет назад. Построение дерева генетических различий в мтДНК (всего найдено 182 различных типа человеческой мтДНК) показало, что наиболее длинные ветви этого дерева характерны для африканских народов. Отсюда следовало, что Ева жила в Африке. Потомки Евы расселились по всем материкам, в том числе мигрировали в Азию, Австралию, через Берингов пролив на Американский континент, в Европу. Приблизительно к таким же выводам пришли и лингвисты, сравнивающие между собой языки разных народов. В то же время некоторые ученые оспаривают эти заключения. Однако в любом случае работа Уилсона и сотрудников стимулировала дальнейшие исследования древних мтДНК. Существует большая вероятность успешного выделения из археологических и палеонтологических находок крупных фрагментов именно мтДНК, поскольку в каждой клетке имеются сотни митохондрий и, следовательно, сотни копий мтДНК приходится на одну ядерную ДНК. Недавно немецкие и американские исследователи сравнили фрагменты мтДНК из ископаемых остатков неандертальцев и современных людей. Сравнение показало, что неандертальцы — близкие родственники, но не предки современных людей, и долгое время два вида (*Homo sapiens* и *Homo neandertales*) сосуществовали на Земле. Ученые амплифицируют все более и более крупные фрагменты ДНК из древних остатков. Например, из тела человека, захороненного 7500 лет назад в торфяном болоте во Флориде (Северная Америка), удалось получить и амплифицировать фрагменты ДНК, принадлежащие шести различным генам. Тела, захороненные в этом месте, хорошо сохранились из-за бальзамирующего действия торфяных кислот. В то же время эти кислоты сравнительно мало разрушили ДНК, поскольку были частично нейтрализованы действием известняка, подстилающего болота. В 1991 году необычно теплое лето вызвало таяние ледников, расположенных на границе Австрии и Швейца-

рии. В одном из таких альпийских ледников было найдено хорошо сохранившееся тело человека в возрасте 25–30 лет. Так называемый тирольский ледяной человек, замерзший в горах приблизительно 5300 лет назад, был одет в кожаный плащ, утепленный с внутренней стороны сухой травой. Находка вызвала большой интерес, так как этот человек мог быть предком нескольких миллионов современных европейцев. Были взяты пробы и для изучения ДНК. В 1994 году была опубликована работа, в которой описаны фрагменты ДНК, выделенной из травы, утеплявшей плащ. Следует отметить, что быстрый прогресс в изучении древних ДНК может привести к серии открытий. Однако необходимо лучше изучить изменения, которые происходят в ДНК ископаемых остатков, разработать надежные способы, с помощью которых можно было бы отличать фрагменты ДНК из остатков от сопутствующих осколков чужеродных ДНК микроорганизменного и иного происхождения. После решения этих проблем ученые, возможно, найдут подходы к складыванию в более длинные последовательности нуклеотидных записей из разных коротких фрагментов ДНК, найденных в древних остатках.

Не только ДНК, но и другие захороненные молекулы способны многое поведать о прошлом человечества. Например, изучение остатков бальзамирующих веществ из древнеегипетских мумий методами хроматографии и масс-спектрометрии показало, что египтяне использовали для бальзамирования битумы, которые привозили в страну в основном с территории нынешнего Израиля, из района Мертвого моря. В бальзамирующий состав входили также смолы хвойных деревьев, топленое сало и пчелиный воск.

ЧЕМ ПИТАЛИСЬ АВСТРАЛОПИТЕКИ

Интересную информацию может нести не только сама химическая структура, но и изотопный состав древних молекул. Как известно, углерод имеет два стабильных изотопа: ^{12}C и ^{13}C . Причем на долю второго приходится всего около одного процента. Тем не менее с помощью некоторых вариантов масс-спектрометрии можно определить точное содержание ^{13}C в любом веществе, в том числе и полученном из археологических памятников или еще более древних палеонтологических находок. Показано, что $\delta^{13}\text{C}$ (величина, характеризующая отношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) зависит от биологического происхождения вещества. Органические вещества из фруктов и орехов, а также других лесных источников пищи (так называемые C_3 -растения) отличаются своим $\delta^{13}\text{C}$ от веществ трав и осок открытых пространств (так называемые C_4 -растения) и питающихся последними животных. Антропологов интересует вопрос, чем питались гоминиды — предшественники современного человека. Предполагается, что переход от растительной к мясной

пище мог способствовать увеличению объема головного мозга у предков *H. sapiens*. Недавно палеоантропологи из Южно-Африканской Республики изучали зубную эмаль остатков четырех австралопитеков *Australopithecus africanus* и еще 19 других животных, живших 3 млн лет назад в 300 км от Йоханнесбурга [3]. Оказалось, что $\delta^{13}\text{C}$ эмали австралопитеков занимает промежуточное положение между таковыми животных, живущих в лесах и питающихся в основном фруктами, и травоядных животных открытых пространств. Следовательно, австралопитеки временами покидали леса и выходили на открытые пространства, где, по-видимому, добывали себе мясную пищу.

Мир прошедший, покорный мощному голосу науки поднимается из могилы свидетельствовать о переворотах, сопровождающих развитие поверхности земного шара.

А. Герцен

МОЛЕКУЛЫ ПОМОГАЮТ ПАЛЕОНТОЛОГАМ

За последнее время методами молекулярной палеонтологии с изучением древних ДНК уже собран интересный фактический материал [4]. В настоящем разделе главным образом будет рассказано о применении данных о древних вторичных метаболитах (геобиомаркерах), захороненных в осадочных породах. Обычно в осадочных породах совсем немного органического вещества, приблизительно около 1%. Основу же их составляет так называемый минеральный матрикс – песчинки, карбонаты, гипсы, а также биогенный скелетный дебрис – спикулы (частички внутреннего скелета) и остатки раковин различных макро- и микроорганизмов. Меньшую часть органического вещества из осадков можно экстрагировать органическими растворителями, а большая часть состоит из неизвлекаемого растворителями материала, называемого керогеном и построенного из соединений, измененных реакциями конденсации и полимеризации. Геобиомаркеры выделяют как из растворимой части органического вещества, так и из керогена после специальной обработки последнего.

Если захороненные молекулы принадлежат к давно вымершим видам, то стоит ли сравнивать их с биомолекулами из современных видов? Ведь биохимические процессы для этих организмов могли различаться весьма существенно. Очевидно, что важную роль в качестве поставщиков веществ-эталонов могут сыграть не любые живые организмы, а так называемые living fossils (живые ископаемые). К ним относятся виды, которые существовали на Земле длительное, геологическое время и существуют до сих пор. Изучение уникальных вторичных метаболитов из живых ископаемых и сравнение их с веществами, выделенными из различ-

ных осадочных пород и ископаемых остатков, позволяют иногда сделать важные выводы.

Нередко все живое разделяют на три большие группы (надцарства): эубактерии, архебактерии (обе эти группы являются прокариотами) и эукариоты (простейшие, грибы, высшие и низшие растения, животные). Один из способов поиска следов древнейших представителей этих групп на Земле состоит в идентификации и определении концентрации геобиомаркеров [5] (рис. 1). Это позволяет независимым методам подтвердить выводы палеонтологов, а иногда и уточнить время появления на Земле тех или иных организмов. Например, изучение современных цианобактерий, генерирующих кислород при фотосинтезе, привело к установлению того факта, что в их мембранах присутствует значительное количество циклических терпеноидов ряда гопана. Причем в отличие от других прокариотов цианобактерии содержат так называемые 2-метилгопаноиды. Первые цианобактерии, имеющие мембранные 2-метилгопаноиды, появились, по-видимому, не менее чем 2,5 млрд лет назад. Во всяком случае продукты трансформации таких соединений найдены в осадочных породах этого возраста. Следовательно, уже тогда в атмосфере планеты шел интенсивный рост концентрации кислорода. Архебактерии отличаются от других организмов планеты наличием в мембранах липидов, содержащих остатки длинноцепных разветвленных спиртов, как в приведенной формуле изопреноидного тетраэфира (см. рис. 1). Из керогена возрастом около 2 млрд лет после обработки последнего галогенидами бора, расщепляющими простые эфирные связи, был получен углеводород бифатан, который, несомненно, происходит от такого рода соединений. Очевидно, архебактерии жили на Земле уже 2 млрд лет назад. Холестерин является типичным вторичным метаболитом эукариотов, в особенности животных. Он отсутствует в прокариотах и архебактериях. Соответствующий геобиомаркер, холестан, неоднократно находили в осадочных породах, образовавшихся приблизительно 700 млн лет назад. Уже тогда, по-видимому, на нашей планете были достаточно широко представлены эукариотические организмы. Идентификация в осадках, образовавшихся 300 млн лет назад, ретена и других аналогичных соединений, произошедших от смоляных кислот хвойных деревьев, показывает, что в то время на Земле имелись соответствующие растения.

ЗАХОРОНЕННЫЕ МОЛЕКУЛЫ И КЛИМАТ

Флуктуации в содержании тех или иных геобиомаркеров в осадочных породах способны свидетельствовать о произошедших в прошлом изменениях климата, причем речь может идти как о глобальных, так и о региональных его изменениях. Чем древнее осадки, тем

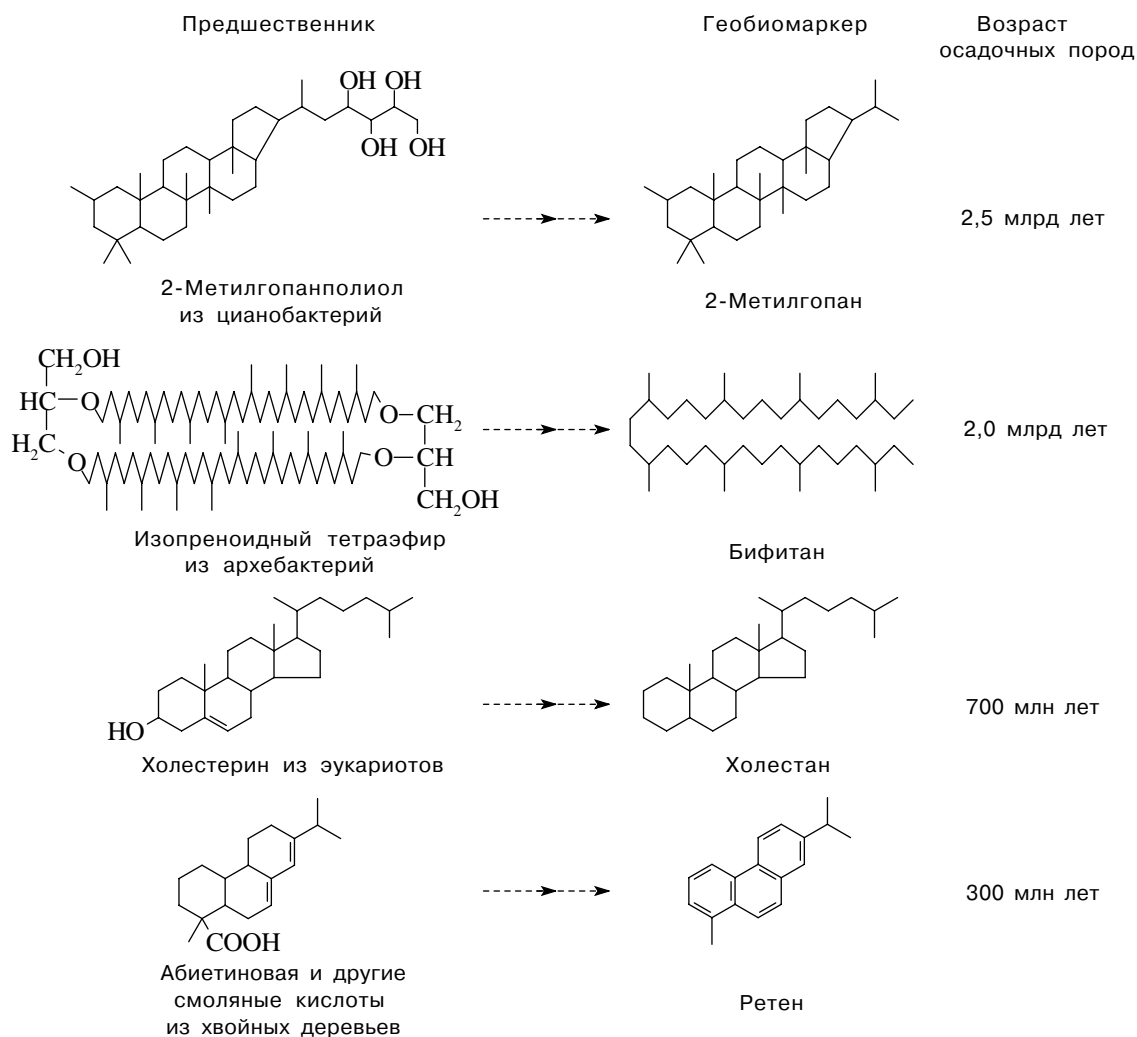
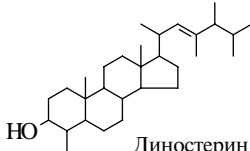
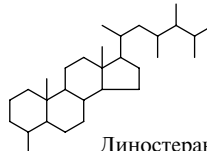
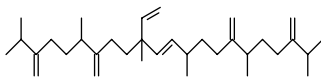
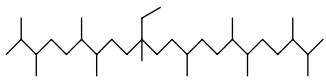
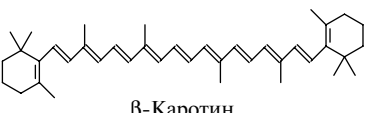
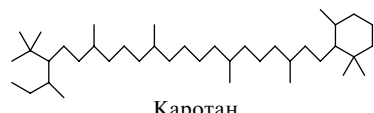


Рис. 1. Структуры некоторых геобиомаркеров, их предшественников и возраст осадочных пород, в которых эти биомаркеры найдены

глубже они захоронены на морском дне. Если собрать в разных районах со дна океана пробы илистого грунта, установить время образования каждого из слоев в этих пробах и затем определить в них содержание геобиомаркера диностерана (табл. 1), можно сделать выводы о периодах глобального потепления и похолодания на Земле. В самом деле, диностеран является продуктом долговременных изменений диностерина, непрямого компонента микроводорослей — динофлагеллят. Во время ледниковых периодов первичная продукция океанов уменьшалась. Падала и численность динофлагеллят в морской воде. В результате в соответствующих слоях осадочных пород концентрация диностерана была пониженной. В межледниковые периоды численность динофлагеллят увеличивалась, а в осадочных по-

родах диностерана становилось больше. При изучении концентрации диностерана в осадках из Тихого и Атлантического океанов удалось установить продолжительность как ледниковых, так и межледниковых периодов на протяжении сотен тысяч лет. Первичная продукция изменяется не только с изменением температуры, но и в зависимости от содержания в воде питательных веществ. Особенно это характерно для зон так называемого апвеллинга — обогащения поверхностных вод питательными элементами при подъеме на поверхность глубинных вод. С апвеллингом связано знаменитое Эль Ниньо — глобальное природное явление, сопровождающееся изменениями климата и продуктивности вод в восточной части Тихого океана. Анализ современных осадков из этого района на содержание геобиомаркеров

Таблица 1. Геобиомаркеры, позволившие проследить за изменениями климата и происхождением некоторых горючих ископаемых

Предшественник	Геобиомаркер	Применение
 Диностерин	 Диностеран	Применялся для анализа климатических изменений на планете и для изучения происхождения современного фитопланктона
 Ботриококкен	Стерин микроводорослей – динофлагеллят  Ботриококкан	
 β-Каротин	Метаболит одноклеточной зеленой водоросли <i>Botryococcus braunii</i>  Каротан	Найден в больших количествах в некоторых месторождениях нефти
	Метаболит низших и высших растений	

типа диностерана не только позволил определить периодичность Эль Ниньо, но и сделать предсказания климатической и промысловой ситуации в этом районе (объем промысла рыбы увеличивается с ростом продуктивности вод).

Без науки и с нефтью будут потемки.

Д.И. Менделеев

ЗАХОРОНЕННЫЕ МОЛЕКУЛЫ, КОТОРЫЕ НАС ОБОГРЕВАЮТ И КОРМЯТ

Захороненные органические молекулы составляют основу важнейших видов полезных ископаемых, в том числе нефти и угля. Происхождение этих и других видов горючих ископаемых на протяжении сотен лет является предметом научных дискуссий [6]. Так, еще в 60-х годах XVIII века М.В. Ломоносов выдвинул гипотезу об органическом происхождении нефти. Он полагал, что нефть, как и уголь, “выгоняется” из торфяных отложений под действием “подземного жара”. В 1877 году Д.И. Менделеев выступил с гипотезой неорганического, карбидного происхождения нефти. Согласно этой гипотезе, углеводороды нефти возникли в результате действия воды на карбиды тяжелых металлов. Широко известны и другие гипотезы, например о вулканическом происхождении нефти. Однако уже к началу XX века большинство специалистов придерживались гипотезы об органическом происхождении нефти и других горючих полезных ископаемых. Основы геохимии нефти и угля были разработаны В.И. Вернадским, создавшим учение о круговороте углерода в природе. Нефти и

угли образовались в результате сложных преобразований соединений микроорганизменного, растительного и животного происхождения. Однако детали этих процессов, в особенности их гео- и биохимические закономерности, а также источники углерода для ископаемых из тех или иных месторождений все еще остаются во многом неизвестными. Вместе с тем они важны для решения вопросов классификации месторождений нефти и угля и повышения эффективности поисковых и разведочных работ. Некоторую полезную информацию может дать применение геобиомаркеров.

На берегах солоноватой, мелководной южной оконечности озера Балхаш более 60 лет назад геолог М.Д. Залесский открыл горючее ископаемое, так называемый балхашит. Он установил, что это вещество быстро образуется из богатых липидами планктонных зеленых микроводорослей *Botryococcus braunii* в результате сероводородного брожения. Тонкие срезы балхашита напоминают по своей морфологии срезы так называемых богхедов (сапропелитов), образовавшихся многие миллионы лет назад. В последних обнаружены и остатки близких микроводорослей. Недавно установлено, что *B. braunii* содержит уникальные углеводороды типа ботриококкена. Ни в одной другой группе организмов таких веществ найдено не было. К удивлению исследователей, в нефти Суматры было найдено огромное количество ботриококкана – геобиомаркера, чье происхождение от *B. braunii* не вызывает никакого сомнения (см. табл. 1). Подсчитано, что в этом месторождении содержится не менее 10^{10} кг ботриококкана. Это определенно указывает на важную роль *B. braunii* в образовании

нефти данного месторождения. В некоторых месторождениях нефти в США (штат Колорадо) и КНР (см. табл. 1) найдено примерно такое же количество каротина — продукта трансформации известного β -каротина, которым особенно богаты живущие в солоноватых водах микроводоросли, например *Dunaliella salina*.

Важным типом захороненных молекул являются гуминовые (гумусовые) кислоты — вещества, определяющие плодородие почв [7]. Они были открыты в 1786 году Ф. Ахардом, который извлек такие вещества из торфа раствором соды и затем высадил из содового раствора при добавлении кислоты. Несмотря на длительную историю изучения, до сих пор не вполне ясны вопросы их генезиса и строения. Гуминовые кислоты содержатся не только в почвах и торфах, но и в выветренных углях и донных осадках. Их строение отличается макромолекулярностью, гетерогенностью и нерегулярностью. Они лишь частично расщепляются при гидролизе. В то же время знание структур даже отдельных, наиболее характерных фрагментов тех или иных гуминовых кислот важно не только для изучения процессов, связанных с образованием этих веществ, но и для понимания природы биологической активности этих веществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Некоторые природные соединения после гибели соответствующих организмов образуют продукты превращений, сохраняющиеся длительное время и несущие определенную информацию о своих продуцентах. К ним относятся так называемые древние ДНК и геобиомаркеры, большинство последних происходит от вторичных метаболитов. Изучение строения, изотопного состава и концентрации этих веществ в различных археологических и палеонтологических находках, а также в осадочных породах позволяет установить или подтвердить факты, касающиеся происхождения человека и эволюции биосферы в целом. Приведены примеры использования геобиомаркеров для анализа климати-

ческих изменений на древней Земле и получения новых сведений о происхождении горючих полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янковский Н.К. Молекулярно-генетические методы в руках детектива, или Опыт исследования останков семьи последнего российского императора // Соросовский Образовательный Журнал. 1996. № 2. С. 21–27.
2. Cann R.L., Stoneking M., Willson A. // Nature. 1987. Vol. 325. № 6099. P. 31.
3. Vogel G. // Science. 1999. Vol. 283. P. 303.
4. Розанов А.Ю. Современная палеонтология // Соросовский Образовательный Журнал. 1999. № 1. С. 47–55.
5. Brassell S.C. Isopentenoids and Geochemistry: In Isopentenoids and Other Natural Products Evolution and Function / Ed. W. David Nes. Wash.: Amer. Chem. Soc., 1994. P. 2–30.
6. Происхождение нефти / Под ред. М.Ф. Мирченка. М.: Госнаучнотехиздат, 1955. 484 с.
7. Гуминовые вещества в биосфере / Под ред. Д.С. Орлова. М.: Наука, 1993. 235 с.

Рецензент статьи Н.К. Янковский

* * *

Валентин Аронович Стоник, доктор химических наук, профессор кафедры биоорганической химии и биотехнологии Дальневосточного государственного университета, член-корреспондент РАН, зам. директора и зав. лабораторией химии морских природных соединений Тихоокеанского института биоорганической химии ДВО РАН. Лауреат премии РАН им. М.М. Шемякина (1995). Область научных интересов — природные соединения. Автор 190 научных статей, трех монографий, 15 патентов, соавтор нескольких коллективных монографий.