

УДК 546.02

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА ЛИПИДОВ ПЛАНКТОНА  
ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

Э. М. ГАЛИМОВ, В. Г. ШИРИНСКИЙ, О. К. БОРДОВСКИЙ, В. Г. ЗАЙКИН

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР,  
Институт океанологии АН СССР и Институт нефтехимического синтеза АН СССР,  
Москва*

Выявлена закономерная зональность распределения величин  $\delta C^{13}$  липидов планктона (в верхнем 100-метровом слое воды) по акватории Индийского океана. Обнаружена связь  $\delta C^{13}$  липидов планктона с температурой воды, содержанием липидов в планктоне и биомассой планктона. Отмечена тенденция к обогащению липидов изотопом  $C^{12}$  с глубиной. Найденные зависимости находят удовлетворительное объяснение в рамках теории термодинамического изотопно-обменного формирования изотопного состава биологических систем.

Планктон составляет важную часть биомассы Мирового океана и служит основным источником органического вещества донных осадков. Помимо сведений, имеющих значение собственно для биохимии планктона, исследование вариаций изотопного состава углерода планктона дает возможность получить необходимую отправную картину при установлении закономерностей распределения изотопов в продуктах преобразования органического вещества и воссоздания геохимической истории органических соединений.

Изотопный состав углерода морских организмов исследован в ряде работ. П. Л. Паркер [1] обнаружил заметные видовые вариации величин  $\delta C^{13}$ , а также обогащенность липидной фракции легким изотопом. Неодинаковое распределение изотопов углерода в биохимических компонентах фитопланктона: липидах, углеводах, аминокислотах и т. д.— было показано Е. Т. Дегенсом и др. [2]. В работе В. М. Саккета с сотр. [3] показана зависимость изотопного состава общего углерода планктона от температуры воды. Планктон, обитавший в высоких широтах бассейна Атлантического океана, оказался изотопически легче планктона из экваториальных вод. Температурная зависимость изотопного состава была подтверждена Дегенсом и др. [4] в опытах по искусственному выращиванию фитопланктона в автотрофных условиях. В упомянутых работах температурная зависимость объяснялась как косвенный результат зависимости изотопного состава углерода организмов от концентрации  $CO_2$ , которая выше в холодной воде.

Настоящая работа посвящена изучению вариаций изотопного состава углерода планктона в пределах обширной океанической акватории.

Поскольку отдельные компоненты живого вещества отличаются по изотопному составу углерода, целесообразно было использовать не валовый углерод планктона, а лишь определенную его биохимическую фракцию. Предпочтение было отдано липидам как фракции, наиболее устойчивой в химических превращениях и являющейся по общему мнению вероятным предшественником основной массы углеводов нефти.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследовались образцы планктона, собранного во время 31-го рейса НИС «Витязь» в северной части Индийского океана сетью типа Джеди с площадью входного отверстия  $0,5 \text{ м}^2$  и с фильтрующим конусом из мельничного сита № 38. На станциях облавливался слой 0—100 м. В связи с тем что количество планктона, полученное с одной станции, часто было недостаточным для анализа станции, относящиеся к районам со сходными гидрологическими условиями и близким таксономическим составом и количеством планктона, объединялись в небольшие группы [5]. Карта районов отбора проб приводится на рис. 1.

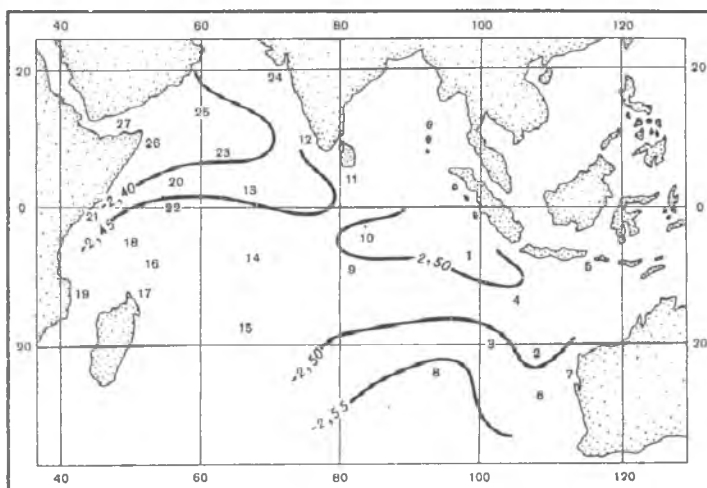


Рис. 1. Карта отбора проб планктона и схема распределения величин  $\delta^{13}\text{C}$  липидов планктона

Номера точек на карте соответствуют районам отбора проб

Липидная фракция планктона экстрагировалась из высушенных проб на аппарате Сокслета последовательно хлороформом и смесью, состоящей из 70% бензола, 15% ацетона и 15% метанола. Изотопный состав этих двух экстрактов практически не отличался (табл. 1). В дальнейшем в работе обсуждается изотопный состав углерода хлороформенных липидов.

Углерод липидов переводился в  $\text{CO}_2$  в системе, описанной ранее [6], путем окисления образцов в токе кислорода на окиси меди. Изотопный анализ углерода осуществлялся на масс-спектрометре МИ-1309 двухлучевым компенсационным методом. Результаты анализа, как обычно, выражены в величинах  $\delta^{13}\text{C} = \left( \frac{\text{C}^{13}/\text{C}_{\text{обп}}^{12}}{\text{C}^{13}/\text{C}_{\text{ст}}^{12}} - 1 \right) \cdot 100\%$ , отнесенных

Таблица 1

Сопоставление изотопного состава углерода липидной фракции, выделенной хлороформом и смесью бензол-ацетон-метанол

№ станции	$\delta^{13}\text{C}$ , %		№ станции	$\delta^{13}\text{C}$ , %	
	хлороформ	бензол-ацетон-метанол		хлороформ	бензол-ацетон-метанол
4728-32	-2,36	-2,40	4714-17	-2,40	-2,37
4726-27	-2,36	-2,39	4704-08	-2,37	-2,38
4710-13; 4718-22	-2,42	-2,39	4701-02	-2,47	-2,46

к стандарту РДВ. Погрешность анализа, оценивавшаяся по методике [7], была не хуже  $\pm 0,02-0,04\%$  при доверительной вероятности 0,95.

Исследовавшийся планктон был представлен главным образом зоопланктоном с некоторой примесью фитопланктона. Сборы были проведены в период зимнего муссона в пределах тропической биогеографической области Индийского океана, в зоне распространения сходных по гидрологическим характеристикам экваториальных и частично центральноиндоокеанских вод. Только несколько станций в северной части Аравийского моря и к западу от Австралии лежат вне этой зоны. Имеются сведения о видовом составе исследованного в данной работе планктона. Подавляющее большинство видов распространено по всей обследованной акватории, и лишь немногие, главным образом неретические формы, встречаются в пределах отдельных его участков [8].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты анализа изотопного состава углерода липидной фракции планктона, а также некоторые другие данные, характеризующие исследованные образцы, приведены в табл. 2.

Прежде всего следует отметить, что изотопный состав липидов планктона Индийского океана варьирует в весьма узком диапазоне от  $\delta C^{13} = -2,58\%$  до  $\delta C^{13} = -2,36\%$ . Однако даже в этих пределах вариации носят закономерный характер. Наибольшее содержание изотопа  $C^{13}$  свойственно липидам планктона, приуроченного к району Аравийского моря ( $\delta C^{13} = -2,36 \div -2,40\%$ ). Восточная часть Индийского океана и особенно центральные воды восточной части океана, а также воды, прилегающие к Австралийскому континенту, характеризуются изотопно-легкими липидами планктона ( $\delta C^{13} = -2,49 \div -2,58\%$ ).

На рис. 1 представлена схема изолиний  $\delta C^{13}$  липидов планктона, отражающая указанную зональность. Сопоставление ее с распределением температур в поверхностных водах (рис. 2) показывает, что воды развития планктона с повышенным содержанием изотопа  $C^{13}$  в липидной

Таблица 2

Изотопный состав липидной фракции планктона Индийского океана

№ района	№ станции	Биомасса (сухой вес), мг/м <sup>3</sup>	Содержание липидов в орг. веществе планктона, %	$\delta C^{13}$ , %
1	4546-551	4,02	16,52	-2,52
2	4556-559	3,75	15,19	-2,49
4	4518, 4521-525; 4533, 4554	5,78	17,21	-2,49
5	4508, 4515, 4527, 4530, 4531, 4533, 4534	15,5	20,9	-2,47
6	4560-4562, 4570	5,60	18,35	-2,52
7	4564-565	13,5	13,92	-2,51
8	4573-581	2,1	15,1	-2,58
9	4599, 4600, 4605-609	3,5	20,81	-2,46
10	4595, 4596, 4598, 4610, 4612	7,0	21,82	-2,51
11	4590-592, 4594, 4613-616	3,44	17,72	-2,47
12	4617-622	5,73	18,0	-2,48
13	4625-634	10,69	34,38	-2,41
22	4701, 4702	16,25	20,7	-2,46
23	4704-709	8,03	18,9	-2,37
24	4714-4717	18,35	22,6	-2,38
25	4710-4713, 4718-723 4725	13,34	16,8	-2,40
26	4726, 4727	20,6	24,7	-2,38
27	4728-732	14,34	29,9	-2,36

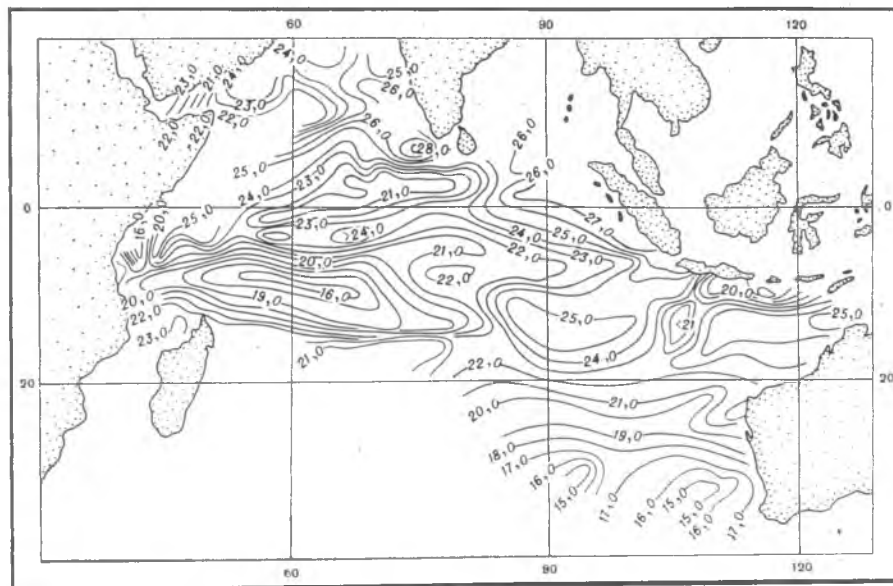


Рис. 2. Карта распределения температуры воды на горизонте 100 м [9]

фракции отвечают наиболее прогретым акваториям Индийского океана. Это служит указанием на возможное существование температурной зависимости изотопного состава углерода планктона.

Ниже мы более подробно рассмотрим это явление наряду с рядом других закономерностей, выявляющихся при сопоставлении наблюдаемых величин  $\delta C^{13}$  с параметрами, характеризующими биохимический состав планктона или условия его обитания.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем перейти к рассмотрению конкретных закономерностей изменений изотопного состава углерода липидов, следует отметить, что в нашей интерпретации мы используем понятие о термодинамическом упорядоченном внутримолекулярном и межмолекулярном распределении изотопов углерода в биологических системах, введенное и рассмотренное одним из авторов [10—13].

Известный феномен обогащенности живых организмов изотопом  $C^{12}$  по сравнению с исходной  $CO_2$  рассматривается в рамках этой концепции как результат различия термодинамических изотопных факторов ( $\beta$ -факторов)  $CO_2$  и органических соединений. При  $27^\circ C$  основные биохимические компоненты живого вещества характеризуются следующими величинами  $\beta_x$ -факторов: жиры —  $\beta_x = 1,152$ , фосфолипиды —  $\beta_x = 1,150$ ; стероиды —  $\beta_x = 1,152$ , хлорофилл —  $\beta_x = 1,157$ , сахара —  $\beta_x = 1,174$ , аминокислоты —  $\beta_x = 1,172$ , в то время как  $CO_2$  имеет  $\beta_x = 1,191$ . Отсюда находит объяснение обогащенность изотопом  $C^{12}$  организмов в целом, поскольку важнейшие биохимические компоненты характеризуются в совокупности меньшими значениями  $\beta_x$ -факторов, чем исходная для фотосинтеза  $CO_2$ . Наблюдаемые различия между самими биохимическими компонентами находятся в соответствии с различиями их  $\beta_x$ -факторов. В частности, максимальная обогащенность изотопом  $C^{12}$  липидов в составе организма соответствует наименьшей величине характеризующего их  $\beta_x$ -фактора.

Ранее мы изучили распределение изотопов углерода в компонентах липидной фракции (восках и углеводородах, жирных кислотах, глице-

ридах, каротиноидах, стеринах, хлорофиллах, гликолипидах и др.), выделенной из организмов, относящихся к четырем различным биоценозам [14]. При этом была экспериментально подтверждена тесная связь изотопного состава углерода каждого изученного компонента липидной фракции с величиной его термодинамического изотопного фактора ( $\beta_x$ -фактора).

Изотопный состав липидной фракции в целом определяется ее эффективным  $\beta_x$ -фактором, полученным путем суммирования с соответствующим весом  $\beta_x$ -факторов их компонентов. В среднем эта величина составляет 1,152. Если изотопно-обменное равновесие (термодинамический изотопный эффект) представляется решающим фактором формирования изотопного состава биоорганических соединений, то вариации изотопного состава могут быть вызваны многими причинами. Они определяются степенью реализации изотопно-обменного равновесия, зависящего от условий развития организма, относительными скоростями установления изотопного обмена в катаболических и анаболических процессах внутри организма и изотопного обмена организма со средой, вариациями изотопного состава исходного бикарбонатного углерода, или углерода  $\text{CO}_2$ , вариациями температурных условий.

#### СВЯЗЬ $\delta\text{C}^{13}$ ЛИПИДОВ ПЛАНКТОНА С ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОДЫ

Характерная черта термодинамических изотопных эффектов — их зависимость от температуры. С уменьшением температуры термодинамические изотопные эффекты, т. е. различия между величинами  $\beta_x$ -факторов, возрастают. Следовательно, с уменьшением температуры должно наблюдаться обогащение органического углерода легким изотопом при

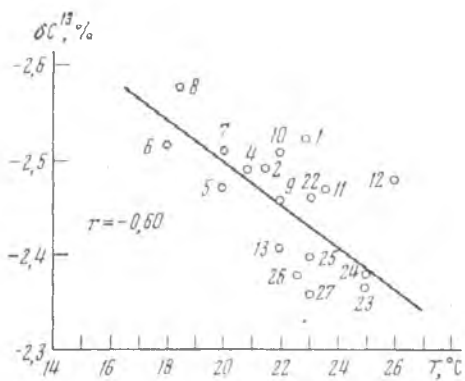


Рис. 3. Связь величин  $\delta\text{C}^{13}$  липидов планктона с температурой воды

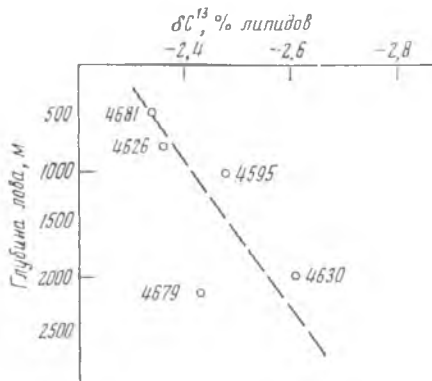


Рис. 4. Зависимость величин  $\delta\text{C}^{13}$  липидов от глубины отбора планктона

условии, что изотопный эффект биосинтеза имеет изотопно-обменную природу.

На рис. 3 показана связь величин  $\delta\text{C}^{13}$  липидной фракции планктона с температурой воды на глубине 100 м и для соответствующих станций. Существует известная условность в использовании фиксированных значений температур для характеристики среды обитания планктона. На самом деле имеет значение характер рассеяния планктона и температурный градиент по вертикали, температурные вариации во времени, цикличность биосинтеза, а также вертикальная и горизонтальная миграция планктона. Однако, несмотря на неопределенность в оценке действительных температурных условий биосинтеза, график, представленный на рис. 3, иллюстрирует наличие удовлетворительной связи  $\delta\text{C}^{13}$  липидов с температурой  $T$ , °С. Несколько выпадает точка № 12. Этот пункт близок

к берегу, и, может быть, в этом случае играет роль снос изотопически легкого бикарбоната с суши. В целом коэффициент корреляции составляет  $r = -0,60$ . Если принять во внимание, что заметная часть разброса данных обусловлена методическими причинами, т. е. погрешностями, возникающими в процессе выделения фракции, ее обработки и масс-спектрометрического анализа, то следует признать, что связь изотопного состава углерода липидной фракции планктона с температурным режимом вод зоны обитания, по-видимому, достаточно отчетлива.

Относительная обогащенность планктона легким изотопом углерода в высоких широтах, как упоминалось, была отмечена в ряде предшествующих работ [3, 4]. Авторы этих работ объясняли это различной концентрацией  $\text{CO}_2$  при различной температуре воды. Позже этому явлению было дано объяснение с позиции термодинамических внутримолекулярных изотопных эффектов [13]. Но следует отметить, что в упомянутых работах исследовался изотопный состав общего углерода планктона. Поэтому, вообще говоря, зависимость изотопного состава углерода от температуры могла быть вызвана косвенными причинами, в частности вариациями компонентного состава планктона, например, увеличенным содержанием изотопически легких липидов в составе планктона из более холодных частей океана. Кстати, подобное явление действительно существует [5]. Важной отличительной чертой нашей работы является то, что в данном случае исследована одна определенная фракция планктона — липидная. Установление зависимости изотопного состава липидов от температуры и близость этой зависимости к расчетной для термодинамических изотопных эффектов может рассматриваться как доказательство функциональной связи изотопного состава органического углерода с температурой биосинтеза.

Помимо планктона из верхнего 100-метрового слоя было изучено пять образцов липидов планктона, для которых нижняя граница отбора находится в диапазоне от 470 до 2300 м. Таким образом, для данных образцов изотопный состав углерода липидов в значительной степени обусловлен наличием глубоководного планктона. На графике рис. 4 показана тенденция к увеличению содержания изотопа  $\text{C}^{12}$  в липидах более глубоководного планктона. Указанные на графике глубины соответствуют максимальным глубинам начала отбора проб планктона. Поскольку с увеличением глубины происходит общее понижение температуры воды (температурный градиент от поверхности до 2000 м около  $20^\circ\text{C}$ ), то по крайней мере частично наблюдаемую тенденцию можно объяснить температурной зависимостью, аналогичной той, что обсуждалась выше.

#### СВЯЗЬ $\delta\text{C}^{13}$ ЛИПИДОВ С СОДЕРЖАНИЕМ ЛИПИДОВ В ПЛАНКТОНЕ

Рассмотрение связи изотопного состава липидов с содержанием липидов в планктоне затрагивает важный вопрос соотношения скоростей изотопного обмена внутри организма и организма со средой. В самом деле, если исходить из концепции изотопного равновесия организма со средой, то при неизменном изотопном составе исходного бикарбоната изотопный состав любого компонента должен определяться его  $\beta_x$ -фактором и не зависеть от концентрации. Изотопный состав организма как целого при этом определяется его компонентным составом. В частности, увеличение содержания изотопически легких компонентов, например липидов, приведет к соответствующему обогащению организма легким изотопом по отношению к исходному бикарбонату.

Однако, если рассматривать организм как частично закрытую систему, обладающую в течение некоторого времени фиксированным изотопным составом независимо от изменения компонентного состава, то тогда, очевидно, чем больше концентрация какого-либо компонента, тем

ближе его изотопный состав к этому фиксированному значению изотопного состава организма.

Для компонентов с низким значением  $\beta_z$ -фактора, таких, как липиды ( $\beta_z=1,152$ ), это будет означать обеднение легким изотопом с увеличением концентрации. Напротив, для компонентов с величиной  $\beta_z$ -фактора, большей, чем для организма в среднем (условно  $\beta_z=1,167$ ), например для углеводов ( $\beta_z=1,176$ ), с увеличением концентрации должно наблюдаться обогащение легким изотопом.

Можно показать, что зависимость между изотопным составом и концентрацией липидов ( $a_k$ ) будет иметь вид:

$$\delta C_k^{13} = 0,86a_k - 2,64.$$

Прямая, отвечающая этому соотношению, нанесена на график (рис. 5). Как видно, она хорошо описывает наблюдаемую тенденцию, т. е. процессы внутренней конверсии в планктоне протекают быстрее, чем устанавливается изотопно-обменное равновесие организма со средой.

#### СОПОСТАВЛЕНИЕ $\delta C^{13}$ ЛИПИДОВ ПЛАНКТОНА С СОЛЕННОСТЬЮ ВОДЫ

Сопоставление изотопного состава углерода липидов с соленостью океанической воды не показывает значимой связи (рис. 6).

Как известно, при изучении организмов, обитающих в водах заливов и эстуарий, удается установить отчетливую корреляцию изотопного состава органического углерода как живых организмов, так и осадков с соленостью. По-видимому, эта связь не является функциональной, а обусловлена выносом пресными водами с суши изотопически легкого бикарбоната.

Поскольку доля терригенного бикарбоната в общем балансе бикарбоната прибрежного бассейна пропорциональна степени разбавления морской воды пресными водами, возникают одинаково направленные градиенты солености и изотопного состава органического углерода.

Вариации солености океанической воды обусловлены иными причинами (тип водной массы и ее трансформация в результате смешения, испарения, количество осадков и т. д.). При этом, как мы видим, связь изотопного состава органического углерода с соленостью отсутствует.

#### СВЯЗЬ $\delta C^{13}$ ЛИПИДОВ ПЛАНКТОНА С ЕГО БИОМАССОЙ

На рис. 7 видно, что существует тенденция к обеднению липидов легким изотопом с увеличением биомассы планктона в  $1 \text{ м}^3$  воды. Морской бикарбонат ( $\delta C^{13} = -0,2\%$ ) на  $1,5-2,0\%$  изотопически тяжелее углерода планктона. Увеличение биомассы планктона в воде приводит к обеднению легким изотопом углерода бикарбоната. Это влечет за собой уменьшение содержания изотопа  $C^{12}$  в планктоне в целом и в отдельных его компонентах, в частности в липидах.

Рядом исследователей отмечалось влияние жизнедеятельности организмов на изотопный состав окружающей среды, из которой они потребляют углерод для биосинтеза. Дж. Н. Вебер и П. М. Дж. Вудхид [15] установили обогащенность общего неорганического углерода морской воды изотопом  $C^{13}$  во время максимальной фотосинтетической активности водорослей. Можно, следовательно, допустить, что планктон в районах своего максимального развития исчерпывает запасы изотопно-легкого  $\text{HCO}_3^-$  и вынужден строить свой организм из остаточного относительно изотопно-тяжелого углерода. Это явление описывается уравнением, подобным приведенному выше. Для количественного выражения зависимости необходимы данные о концентрации бикарбоната, которыми мы не располагаем.

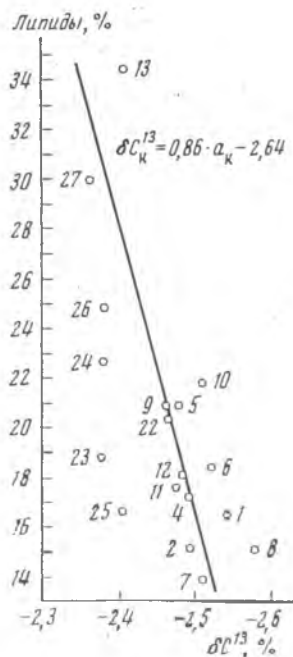


Рис. 5

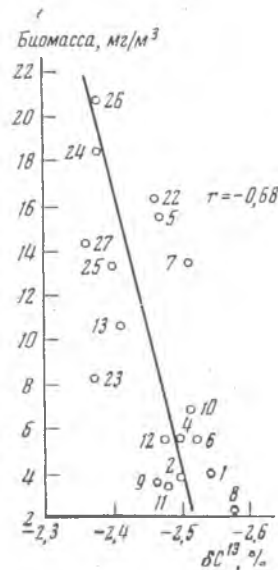


Рис. 7

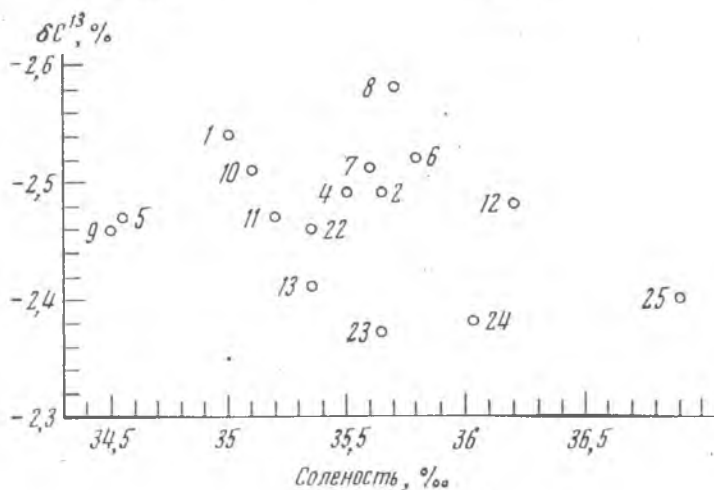


Рис. 6

Рис. 5. Связь величин  $\delta C^{13}$  липидов планктона с содержанием липидов в планктоне

Рис. 6. Сопоставление величин  $\delta C^{13}$  липидов планктона с соленостью воды

Рис. 7. Связь величин  $\delta C^{13}$  липидов планктона с его биомассой.

Обобщая вышесказанное, следует подчеркнуть, что в общем случае формирование изотопного состава углерода продуктов биосинтеза (в нашем случае липидов) определяется термодинамикой изотопного обмена и контролируется величинами  $\beta_2$ -факторов метаболитов. Однако условие и состояние изотопного обмена, а отсюда вариации изотопного состава углерода зависят от целого комплекса факторов, а именно температуры воды, колебаний концентрации  $CO_2$ , скорости роста орга-



низмов, влиянием материкового стока и др. В этом комплексе существуют факторы, оказывающие более заметное влияние на формирование изотопного состава липидов, среди которых, очевидно, существенны температура воды и обогащенность планктонных организмов липидами.

Интересно отметить, что в тропиках, где наиболее полно проявляются эти факторы, находятся экстремальные значения  $\delta C^{13}$  липидов. Так, точка № 8 характеризуется наиболее изотопно-легким углеродом липидов ( $\delta C^{13} = -2,58\%$ ) и лежит в холодноводной температурной зоне ( $17-18^\circ$ ) при минимальном количестве липидов и минимальной биомассе. Точка № 27 ( $\delta C^{13} = -2,36\%$ ) относится к району с высокой температурой воды ( $23-24^\circ$ ), максимальным развитием биомассы и высоким содержанием липидов в планктоне.

Поскольку липиды считаются одним из наиболее вероятных биохимических первоисточников нефтяных углеводородов, то отмеченная температурная зависимость их изотопного состава предполагает соответствующие вариации изотопного состава углеводородов в зависимости от температуры бассейна обитания организмов.

Поступила в редакцию  
21 ноября 1974 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Parker P. L. The biochemistry of the stable isotopes of carbon in a marine bay.— *Geochim. et cosmochim. acta*, v. 28, № 7, 1964.
2. Degens E. T., Behrendt M., Gotthardt B., Reppmann E. Metabolic fractionation of carbon isotopes in a marine plankton.— II. Data on samples collected of the coast of Peru and Ecuador.— *Deep-Sea Res.*, v. 15, № 1, 1968.
3. Sackett W. M., Eckelmann W. R., Bender M. L., Be A. W. H. Temperature dependence of carbon isotope composition in marine plankton and sediments.— *Science*, v. 148, p. 235, 1965.
4. Degens E. T., Guillard R. R. L., Sackett W. M., Hellebust J. A. Metabolic fractionation of carbon isotopes in marine plankton.— I. Temperature and respiration experiments.— *Deep-Sea Res.*, v. 15, № 1, 1968.
5. Богоров В. Г., Бордовский О. К., Виноградов М. Е. Биохимия океанического планктона. Распределение некоторых биохимических компонентов планктона в Индийском океане.— *Океанология*, т. VI, вып. 2, 1966.
6. Галимов Э. М. Геохимия изотопов углерода. «Недра», М., 1968.
7. Галимов Э. М., Гриненко В. А., Устинов В. И. К вопросу об анализе инструментальной ошибки при прецизионном анализе изотопного состава элементов.— *Ж. аналит. химии*, № 5, 1965.
8. Виноградов М. Е., Воронина Н. М. Некоторые черты распределения зоопланктона северной части Индийского океана.— *Тр. Ин-та океанологии АН СССР*, т. LVIII, 1962.
9. Лукьянов В. В., Моисеев Л. К. Распределение температуры воды в северной части Индийского океана.— *Океанологические исследования*, № 4, X раздел программы ИГГ, 1961.
10. Галимов Э. М. Методы изотопических чисел связей. Применение в биохимии и геохимии.— IV Всес. симпозиум по применению стабильных изотопов в геохимии. М., ГЕОХИ АН СССР, 1972.
11. Galimov E. M. Biogenic intermolecular and intramolecular carbon isotope effects. Method of «isotopic numbers of bindings». *Biochemical and geochemical applications. Intern. Meeting on Isotope effects in Physical and Chemical Processes*, Cluj, Romania, 1973.
12. Galimov E. M. Phenomenon of intramolecular and intermolecular carbon isotope effects in biological systems. *Gordon Conference, Asilomar*, 1—5 July, U. S. A., 1974.
13. Галимов Э. М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. «Недра», М., 1973.
14. Галимов Э. М., Ширинский В. Г. Упорядоченное распределение изотопов углерода в индивидуальных соединениях и компонентах липидной фракции организмов.— *Геохимия*, № 4, 1975.
15. Weber J. N., Woodhead P. M. J. Diurnal variations in the isotopic composition of dissolved inorganic carbon in Seawater from coral reef environments. *Geochim. et cosmochim. acta*, v. 35, № 9, 1971.

случае  
синтеза  
топного  
Однако  
топного  
именно  
а орга-

ISOTOPIC CARBON COMPOSITIONS OF LIPIDS OF THE INDIAN  
OCEAN PLANKTON

E. M. GALIMOV, V. G. SHIRINSKY, O. K. BORDOVSKY, V. G. ZAIKIN

*V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,  
USSR Academy of Sciences, Institute of Oceanology,*

*USSR Academy of Sciences and Institute of Oil-Chemical Synthesis,  
USSR Academy of Sciences, Moscow*

A regular zoning in the distribution of  $\delta^{13}\text{C}$  values of plankton lipids (in the upper 100-meter water layer) over the aquatorium of the Indian Ocean has been found out. A connection of  $\delta^{13}\text{C}$  of the plankton lipids with water temperature, content of lipids in the plankton and with the biomass of the plankton has been revealed. A tendency towards enrichment of lipids in the  $^{12}\text{C}$  isotope with depth has been noted. The found dependence may be satisfactorily accounted for by the theory of thermodynamical isotopic-exchange formation of the isotopic composition of biological systems.

---