

ГИДРОБИОЛОГИЯ

Б. А. СКОПИНЦЕВ

**О СКОРОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА  
ОТМЕРШЕГО ПЛАНКТОНА**

(Представлено академиком Б. Л. Исаченко 20 VIII 1947)

В ранее опубликованных нами работах (6-8) было показано, что происходящая при разложении органического вещества планктона регенерация минеральных производных азота и фосфора, а также потребление кислорода подчиняются уравнению реакции первого порядка (мономолекулярная реакция). Тогда же было высказано, что и процесс разложения органического вещества планктона также подчиняется данной закономерности. В цитированных выше, а также в опубликованных позже работах (11) имеются цифровые данные об изменении содержания органического планктонного (взвешенного) азота. Обработка этих данных подтвердила применимость уравнения реакции первого порядка и в данном случае. Сопоставление кривых, построенных по опытным и вычисленным величинам, это подтверждает. Отметим здесь, что при вычислении константы скорости окисления — разложения азотсодержащей части отмершего планктона ( $K_N$ ) за начальную концентрацию принималась разница между исходным содержанием планктонного N и той практически постоянной его величиной, которая обычно устанавливалась к началу нитрификации. Вычисленные значения констант приведены в табл. 1; температура опытов — около 25 °С.

Как видно, вычисленные величины  $K_N$  того же порядка, как приведенные ранее (6-8) величины других констант ( $K_A$ ,  $K_P$ ,  $K_D$ ); обращает на себя внимание также полное совпадение величин  $K_N$  для разных опытов с диатомовой водорослью. Имеющиеся расхождения в

Таблица 1

Константы  $K_N$  скорости разложения азота органических соединений отмершего планктона (по опытам работы (11))

№ опыта	Объект	Величины $K_N$		№ опыта	Объект	Величины $K_N$	
		крайние	средние			крайние	средние
1	Смешанный планктон	0,051 0,041	0,044	6	Диатомей <i>Nitzschia</i>	0,051 0,068	0,057
2	То же . . . . .	0,093 0,100	0,114	12	То же . . . . .	0,067 0,042	0,058
				13	То же . . . . .	0,045 0,064	0,054

величинах констант, повидимому, обусловлены различием в химическом составе опытного материала; значение последнего обстоятельства было отмечено еще Ваксманом, который особое внимание обращает на отношение в нем С: N (<sup>21</sup>). Чем больше отношение С: N, т. е., следовательно, чем меньше в органическом веществе содержание органических азотсодержащих соединений (белков), тем медленнее процесс распада. Изменение в опытах исходной концентрации внесенного планктона от 185 до 768 γ N на литр практически не оказывает влияния на скорость убыли планктонного N (<sup>11</sup>).

На основании величин  $K_N$  было вычислено время, в течение которого будет окислено 50 и 90% от всего нестойкого органического вещества при температурах 22, 12, 2°С (табл. 2). В этих расчетах величина температурного коэффициента  $Q_{10}$  принята равной 2,2 (<sup>17</sup>, <sup>14</sup>).

Далее, для получения хотя бы ориентировочного представления о скорости падения в морской воде ( $S=35\text{‰}$ ) отмерших планктонных организмов разного диаметра при разных температурах, были произведены соответствующие вычисления по формуле Стокса (<sup>8</sup>) (табл. 3). При этом было принято, что удельный вес организмов равен 1,04 (<sup>5</sup>, <sup>9</sup>) и их форма шарообразна.

Таблица 2

Время в днях, в течение которого окисляется 50 и 90% нестойкого органического вещества планктона

$K_N$	0,044			0,05			0,114		
	22	12	2	22	12	2	22	12	2
Темп-ра в °С									
50%	7	15	33	5	11	24	3	7	15
90%	23	51	112	18	40	88	9	20	44

Таблица 3

Скорость падения планктонных организмов в морской воде в м/сутки

Темп-ра в °С	Диаметр в мм				
	2,00	0,50	0,20	0,050	0,020
22	3100	190	31	1,9	0,31
12	2000	120	20	1,2	0,20
2	1400	84	14	0,84	0,14

Для сравнения приводим опытные данные по скорости осаждения анестезированного *Calanus f.* длиной 2,1 мм при 18,5° и солености в 35‰ (<sup>29</sup>); она равна 7,2 см/сек., а согласно нашим расчетам, при 22°С скорость падения шарообразного организма диаметром 2,0 мм равна 3,5 см/сек.

На основании предыдущих величин было вычислено, в какой толще моря произойдет окисление нестойкой части органического вещества планктонных организмов разного диаметра, при разных температурах и разных величинах констант  $K_N$  (рис. 1). Из рассмотрения рис. 1 видно, что:

1) Организмы мезопланктона с диаметром  $\geq 1$  мм достигают максимальных океанских глубин при всех исследованных температурах в сравнительно малой степени разложения ( $< 50\%$ ).

2) Организмы микропланктона, имеющие диаметр от 1,0 до 0,20 мм, достигают глубины  $\geq 2000$  м в состоянии глубокой стадии распада ( $\sim 90\%$ ); в то же время распад организмов диаметром 0,20—0,05 мм в основном заканчивается в толще, не превышающей 1500 м.

3) Наннопланктон (диаметром менее 0,05 мм), составляющий основную массу планктона тропических и арктических морей (<sup>14</sup>), распадается в слое 0—100 м.

Как видно из рис. 1, влияние температурного фактора сравнительно невелико, что и понятно, так как хотя низкая температура и удли-

няет срок распада органической материи, но в то же время в этих условиях скорость падения уменьшается. Очевидно, что при ином удельном весе организмов картина распределения их трупов будет несколько иной.

Практически результаты приведенных расчетов должны быть оценены как приближенная схема, указывающая на нижнюю границу проникновения остатков организмов в той или иной степени разложения. В действительности указанные процессы будут закаливаться в более высоких слоях, так как в расчетах было допущено, что: 1) организмы имеют форму шара, 2) вода находится в состоянии покоя, 3) плотность воды и давление с глубиной не изменяются и 4) размеры организмов по мере распада не уменьшаются. Отметим здесь, что умень-

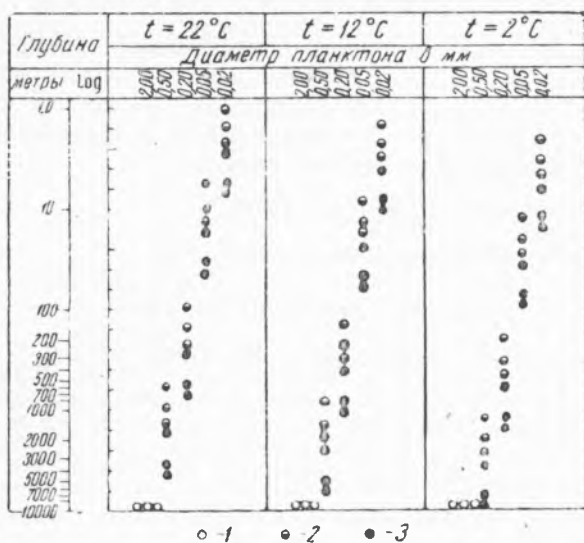


Рис. 1. Глубины в метрах, на которых планктон разного диаметра при разных константах  $K_N$  и температурах достигает разложения: 1 — < 50%, 2 — на 50%, 3 — на 90%. (шкала глубин — логарифмическая)

шение размеров организмов при распаде устакановлено Зейвеллом опытным путем<sup>(13)</sup>: за 10 дней при  $22^\circ\text{C}$  диаметр организмов уменьшился в 2 раза. Поэтому надо полагать, что все организмы группы микропланктона в основном распадутся в толще нескольких верхних сотен метров. Также, очевидно, можно считать, что и наибольшая часть всех трупов планктона разложится в скееане в этой толще, которая еще может получать кислород в достаточном количестве. Это обстоятельство, напоминаем, есть в первую очередь следствие того важного явления, что скорость распада нестойкой органической материи пропорциональна ее концентрации, т. е. скорость по мере распада уменьшается.

Ниже этого слоя толща воды будет в основном содержать трудно распадающиеся остатки организмов — детрит. Сделанный выше вывод дает основание считать, что существование в скееане промежуточного слоя с кислородным минимумом возможно лишь при одновременной высокой гидрологической устойчивости той водной массы, которая его составляет.

Высказанное представление о том, что наибольшая масса отмерших планктонных организмов распадается в верхней толще моря — океана, подтверждается соответствующим распределением в море: аммиака<sup>(1, 15, 16)</sup>, натратов<sup>(16)</sup>, органического N и P — как растворен-

ного (<sup>15</sup>, <sup>16</sup>), так и взвешенного (<sup>12</sup>), а также зоопланктона и бактерий (<sup>2</sup>, <sup>20</sup>).

Во всех предыдущих рассуждениях и вычислениях учитывалась та часть органического вещества планктона, которая относится к группе нестойких соединений; остальная часть представляет уже стойкие, стабильные соединения. По данным (<sup>11</sup>), она составляет в разных опытах: 21, 33, 32, 15, 25, 17, 6 и в среднем 21% от начального содержания\*; в наших опытах — 35%; при разложении высших растений эта часть составляет 20—30%. В ее состав входит и стойкая часть тел бактерий. Таким образом, очевидно, содержание нестойких соединений в отмершем планктоне должно быть около 70—80% от общего содержания органического вещества в нем. Стойкая часть в аэробных условиях продолжает распадаться, но с чрезвычайно малыми скоростями (<sup>11</sup>).

Рассмотренные здесь вопросы представляют интерес и значение не только для явлений, протекающих в самой толще воды. Они имеют не меньшее значение и для процессов, связанных с накоплением органического вещества на дне водоемов, и в частности, с генезисом нефти и образованием ряда отложений.

Институт геохимии и аналитической химии  
Академии Наук СССР,  
Государственный океанографический институт

Поступило  
24 VI 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. В. Бруевич, Тр. I Сессии ГОИН'а, № 1 (1931). <sup>2</sup> В. С. Буткевич, ДАН, 19, № 8 (1938). <sup>3</sup> С. Ваксман, Гумус, 1937. <sup>4</sup> А. П. Виноградов, Тр. ВНИРО, 7, 97 (1938). <sup>5</sup> С. А. Зернов, Общая гидробиология, 1934. <sup>6</sup> Б. А. Скопинцев, Микробиология, 7, № 6 (1938). <sup>7</sup> Б. А. Скопинцев и Е. С. Брук, там же, 9, № 6 (1940). <sup>8</sup> Б. А. Скопинцев и Е. С. Брук, ДАН, 26, № 8 (1940). <sup>9</sup> И. И. Усачев, Сборн., посв. деятельности Н. М. Книповича, 1939. <sup>10</sup> D. Anderson, J. Marine Research, 2, 225 (1939). <sup>11</sup> Th. Brand and Rakestraw, Biol. Bull., 72, 165 (1937); 77, 285 (1939); 79, 231 (1940); 81, 63 (1941); 83, 273 (1942). <sup>12</sup> Th. Brand, J. du Conseil, 13, 187 (1938). <sup>13</sup> L. Cooper, J. of Marine Biol. Assoc., 22, 177 (1937). <sup>14</sup> H. W. Harvey, Recent Advances in the Chemistry and Biology of Sea Water, Cambridge, 1945. <sup>15</sup> A. Redfield and A. Keys, Biolog. Bull., 74, No. 1 (1938). <sup>16</sup> R. Robinson and H. Wirth, J. du Conseil, 9, No. 2 (1934). <sup>17</sup> H. R. Seiwel, Nature, 140, 506 (1937). <sup>18</sup> H. R. Seiwel and G. Seiwel, Proc. Amer. Phil. Soc., 78, 465 (1938). <sup>19</sup> P. Trask, Recent Marine Sediments, London, 1939. <sup>20</sup> H. Sverdrup, M. Johnston and R. Fleming, The Oceans, 1942. <sup>21</sup> S. Waksman, C. Carey and H. Reuszer, Biol. Bull., 65, 57 (1933).

\* Что обычно наступало при 15—20°C за 1—1,5 месяца.