

ГИДРОБИОЛОГИЯ

Б. А. СКОПИНЦЕВ и Е. С. БРУК

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА
ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ОТМЕРШЕГО ФИТОПЛАНКТОНА**

(Представлено академиком А. А. Рихтером 26 I 1940)

Конечным этапом процесса разложения отмершего планктона является минерализация органического вещества указанных организмов. Данный процесс, являясь одним из звеньев круговорота элементов в природе, приобретает важное значение в пополнении запасов питательных солей в водоемах—в регенерации биогенных элементов в них. Особенно велика роль данного явления регенерации в вегетационный период, когда приток питательных солей в водоемах извне бывает невелик.

Для выяснения закономерностей, имеющих место при разложении пресноводных фитопланктонных организмов, нами были проведены наблюдения в лабораторных условиях. В литературе описаны результаты опытов английских и американских исследователей с морским планктоном (2,3,4).

Методика работы. 4 X 1939 г. на подмосковном водохранилище собирался планктон путем пропускания воды через газ № 25; преобладающей формой были сине-зеленые водоросли *Microcystis aeruginosa*. Определенное количество планктона вносилось в затемненные 15-литровые бутылки с московской водопроводной водой; последние хранились в темном месте и периодически встряхивались. В день опыта и затем через определенные сроки из бутылей собиралась вода для анализа, который проводился согласно методам, описанным в соответствующих руководствах (5, 6, 7). Бутыль № 1 (с содержанием около 80 000 колоний в 1 л) инкубировалась при средней температуре 6°; бутыль № 2 (около 120 000 колоний в 1 л)—при средней температуре 16°; бутыль № 3—с контрольной водой (щелочность 3,68 мг-экв., $Cl=3,2$ мг/л)—также при 16°. Полученные данные частично приведены на фиг. 1 и 2.

Сопоставление наших данных с упомянутыми выше наблюдениями по морскому планктону указывает на общность процессов распада в обоих случаях, напоминающих те явления, которые имеют место при минерализации органического вещества бытовых сточных вод (4, 8). Во всех этих случаях процесс распада идет с затухающими скоростями, так что представляется возможность применения для расчетов уравнений реакций 1-го порядка (подробнее см. 4, 8).

Произведенное вычисление на основе соответствующих уравнений констант БПК (K_D) и констант аммонификации (K_A) дало следующие величины: при 16° $K_D=0,082$ и $K=0,108$ и при 6° $K_D=0,035$ и $K_A=0,061$

(при этих вычислениях за начальный день принимался 2-й день и исходное количество NH_4 вычиталось).

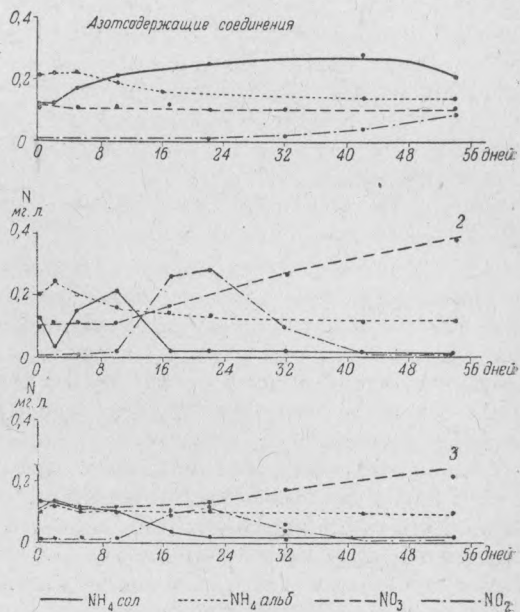
Рассчитанный по этим константам процент аммонификации за период в 10 дней составляет при 16° 91% и при 6° 75% от конечной величины накопленного NH_4 , что достаточно хорошо согласуется с фактическими данными*.

Более низкие величины K_A , вычисленные нами ранее для опытов с морским планктоном (4), указывают на замедление процесса распада морского планктона; и, действительно, максимальное накопление NH_4 в этих опытах наступило в среднем на 20-й день и лишь с этого дня увеличивались нитриты, достигавшие максимума на 35—40-й день. В опытах с диатомовыми нитрификация не наступала и на 43-й день. Причина подобного замедления в морских опытах может быть обусловлена или различием в химическом составе планктона, или особенностью условий жизнедеятельности морских бактерий. Последнее объяснение весьма вероятно, так как приведенная величина константы БПК (K_D) для опытов с пресноводным планктоном близка к аналогичным константам, полученным нами в опытах по минерализации органического вещества бытовых сточных вод (8); в последнем случае $K_D = 0,074$ и $0,088$ (при 18°).

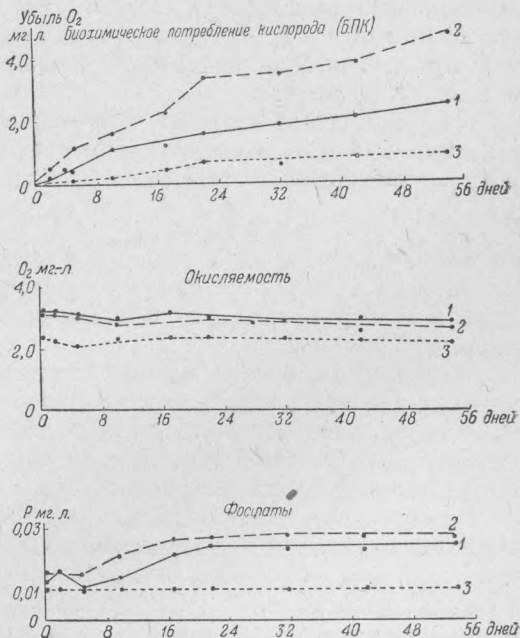
Большой интерес представляет знание степени минерализации органического вещества отмершего планктона: судя по убыли органического фосфора и по приросту фосфатов, планктон за 54 дня минерализовался на $60-70\%$, а по приросту минерального азота—на 83% ; такая степень минерализации была достигнута уже к 17—20-му дню, так как после этого времени прироста фосфатов и минерального азота практически не было.

Соответствующее вычисление, произведенное нами по аналитическим материалам, полученным английскими и американскими авторами для

* Влияние низкой температуры также проявилось в замедлении нитрификации.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

морского планктона при 16—25°, показывает следующее: а) данные Купера⁽³⁾—в опыте со смешанным планктоном (фито и 300) количество образовавшихся фосфатов к 21—24-му дню составляло 125—130% и к 45—60-му дню—150—170% от внесенного планктонного фосфора; в то же время фитопланктон по приросту растворимых фосфатов минерализовался к 17—26-му дню на 35% и к 27—35-му дню на 35—55%; б) данные Рекестроу и др.⁽¹⁾—смешанный фитопланктон по убыли органического планктонного азота (точнее, азота взвеси) минерализовался к 17—20-му дню на 59—64—78%, тогда как максимальное накопление аммиака (к 17—20-му дню) составляло 120—160—170% от планктонного азота; в то же время диатомовые по убыли планктонного азота минерализовались к 18-му дню на 69% и по приросту аммиака на 65% к 18-му дню и на 77% к 30-му дню.

Все эти наблюдения согласно показывают, что при распаде смешанного планктона количество азот- и фосфорсодержащих продуктов распада превышает количество внесенного планктонного N и P. Повидимому, это есть следствие того, что в этом случае частично распадается и органическое вещество воды, хотя в то же время некоторая часть планктонного азота остается неразложившейся. В случае фитопланктона уже большая часть органики планктона остается неразложившейся; таким образом в результате распада фитопланктона вода обогащается не только биогенными элементами, но и органическим веществом. Этот вывод подтверждается также и тем, что содержание альбуминоидного аммиака и окисляемость в последние дни опыта, когда накопление биогенных элементов уже закончилось, были несколько выше, чем в контроле.

Кроме разобранных наблюдений, нами произведено также определение степени разложения хлорофильного пигмента планктона, переходящего в ацетоновую вытяжку. В начале опыта в 1-й серии было найдено в 1 л 46 хлорофильных единиц Гарвея⁽⁹⁾ и во 2-й серии 38 единиц в 1 л; по окончании опыта в 1-й серии оставалось 22 единицы и во 2-й серии 7 единиц в 1 л. Таким образом за 53 дня при 6° пигмент разрушился на 52% и при 16° на 82%.

Для получения хотя бы ориентировочного представления о скорости падения в тихой воде отмерших планктонных организмов размером в 50 μ ($r = 0,0025$ см) нами были произведены соответствующие расчеты по формуле Стокса: $v = \frac{2}{9} r^2 g \frac{d_0 - d}{\eta}$. При температуре воды 20°, вязкости ее $\eta = 0,01$, удельном весе воды $d = 0,99$ и организма $d_0 = 1,02$ скорость падения $v = 0,0027$ см/сек. При этой скорости за 100 час. будет пройден путь в 10 м; организмы большего размера успеют пройти больший путь.

В действительности же скорости падения могут быть значительно меньше, так как в этих расчетах принята шарообразная форма организма; кроме того, как показал Зейвелл⁽¹⁰⁾, за время падения начальная скорость значительно уменьшается, что вызвано протекающими процессами распада, вызывающими уменьшение массы организма.

Разобранные выше опытные материалы, а также и расчетные данные позволяют подойти к рассмотрению явлений, протекающих в естественных условиях. Ориентировочно можно считать:

а) в водоемах глубиной в несколько метров значительная часть отмерших организмов размером в 50 μ и меньше успеет дойти до дна в мало разрушенном состоянии; однако наличие ветрового и конвекционного перемешивания должно оказывать задерживающее влияние на скорость их падения;

б) в водоемах глубиной в несколько десятков метров в летнее время те же организмы будут доходить до дна в сильно разрушенном состоянии;

таким образом распад и регенерация биогенных элементов будут происходить в самой толще воды (за период не более 10—20 дней при 20°);

в) и, наконец, в глубоких водоемах распад будет в основном закончен в толще до 100 м; падающие глубже и достигающие дна остатки организмов будут представлять собой стойкое стабилизированное органическое вещество.

Естественно, что трупы более крупных организмов будут достигать больших глубин в относительно меньшем состоянии разрушения.

Высказанные соображения подтверждаются и распределением биогенных элементов в толще воды в летнее время: в неглубоких водоемах наблюдается накопление NH_4 после периодов цветения во всей толще воды; в морях максимальное содержание NH_4 и NO_3 не простирается глубже 100 м.

Поступило
14 I 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. А. Зернов, Общая гидробиология, Москва (1934). ² Th. Grand, N. Rakestraw a. Ch. Renn, Biological Bulletin, **72**, 165 (1937).
³ L. Cooper, Journ. of the Marine Biolog. Assoc., **22**, 177 (1937). ⁴ Б. А. Скопинцев, Микробиология, **7**, № 6, 755 (1938). ⁵ Методы выемки и исследования проб воды, М., Изд. Санитарного ин-та им. Ф. Ф. Эрисмана (1938). ⁶ Методика химического анализа питьевых и сточных вод, М., то же издание (1938). ⁷ Инструкция к полному санитарному анализу питьевой воды, М., то же издание (1939).
⁸ Б. А. Скопинцев и Ю. С. Овчинникова, Микробиология, **3**, 138 (1934). ⁹ H. Harvey, Journ. of the Marine Biolog. Assoc., **19** (1934).
¹⁰ H. R. Seiwel a. G. E. Seiwel, Proc. of the Am. Phil. Soc., **78**, 465 (1938).