

ГИДРОБИОЛОГИЯ

Б. А. СКОПИНЦЕВ

О КИСЛОРОДНОМ ЭКВИВАLENTE ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
ПРИРОДНЫХ ВОД

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

1. Для расчета ряда величин, характеризующих явления, связанные с процессами окисления органического вещества в природных водах, обычно пользуются особыми коэффициентами, носящими название кислородных эквивалентов.

Под кислородным эквивалентом подразумевается то количество кислорода (в мг или см³), которое необходимо для полного окисления (химического или биохимического) единицы интересующего нас органического вещества как растворенного, так и взвешенного. Естественно, что аналогичные расчеты возможны и по отношению к отдельным элементам, составляющим данное вещество, например для углерода, азота и фосфора. В природных водах вполне отчетливо могут быть выделены две основные группы органического вещества, отличающиеся между собой по их устойчивости к разложению под влиянием микроорганизмов — основных агентов, вызывающих данный процесс в природных водоемах. Вполне естественно, что и их кислородные эквиваленты значительно отличаются между собой.

Это будут: а) органическое вещество свежее отмерших организмов, а также и свежие продукты их выделения и обмена, и б) те же вещества, но уже подвергшиеся трансформации; последние обычно относятся к группе гумусовых и гумусовоподобных соединений. Здесь будут рассмотрены обе группы.

2. Для органического вещества планктона в литературе приводятся следующие величины (⁶, ¹⁴):

На 1 мг планктона требуется	0,8 см ³ , или	1,14 мг кислорода
На 1 мг С планктона требуется	1,9 см ³ , или	2,66 мг кислорода
На 1 мг N планктона требуется	10,6 см ³ , или	15,1 мг кислорода
На 1 мг P планктона требуется	76,0 см ³ , или	108,7 мг кислорода

Эти вычисления сделаны на основании следующих исходных величин: а) планктон (сухой) среднего состава состоит из 44% С, 7,6% N и 1,1% P*; б) на окисление одного атома углерода планктона требуется два атома кислорода, как это имеет место для глюкозы.

Отсюда отношение O : C : N : P = 109 : 41 : 7.2 : 1; такие значения кислородного эквивалента принимаются при вычислении продукции органического вещества в море.

Однако приведенные величины нуждаются в исправлении, так как: а) в состав планктона, помимо углеводов, входят также жиры и осо-

* В данном случае, как и всюду дальше, отношение элементов дается для весовых единиц.

бенно белки; б) освобождающийся при окислении белковых соединений аммиачный азот превращается в результате деятельности бактерий в нитраты. На последнее обстоятельство было обращено внимание еще в 1937 г. (7) и тогда было предложено увеличить величину кислородного эквивалента для планктона до 1,37 мг O₂ (т. е. на 20%).

Как же велика поправка на присутствие в планктоне жира и белка? Средний состав планктона в расчете на сухой вес и на беззольное вещество представлен в табл. 1; планктон смешанный, с преобладанием фитопланктона.

Таблица 1

Средний состав озерного и морского
планктона (в %)

	Озерный планктон		Морской планктон(*)	
	анализы 1922 г.(*)	анализы 1934 г.(*)	крайние	среднее
Углеводы	46,0	59	2—45	25
Белки	47,2	37	44—82	68
Жиры	6,8	4	2—20	7

Принимая осредненные величины кислородного эквивалента для указанных групп органических соединений, а именно для углевода 1,16 мг, для белков 1,73 мг и для жира 2,86 мг (15), нами произведены соответствующие расчеты для органического вещества планктона.

Эти вычисления показывают, что средний кислородный эквивалент для органического вещества смешанного планктона озерного равен 1,49 и морского 1,67 мг; принимаем единую величину 1,5 мг O₂*.

Присоединяя сюда тот кислород, который идет на нитрификацию N белков, получаем для планктона озерного 1,8 и морского 2,0; принимаем единую величину 1,8 мг O₂.

Для вычисления кислородного эквивалента отдельных элементов, входящих в состав беззольного органического вещества планктона, нами взят следующий элементарный его состав (1, 5, 9, 13): 50% С, 8% N и 1,2% P, или C : N : P = 42 : 7 : 1.

Вычисленные значения кислородного эквивалента следующие (цифры округлены):

На 1 мг С планктона требуется	3,0 мг O ₂ , с учетом нитрификации	3,6 мг O ₂
На 1 мг N планктона требуется	19,0 мг O ₂ , с учетом нитрификации	22,0 мг O ₂
На 1 мг P планктона требуется	125,0 мг O ₂ , с учетом нитрификации	150,0 мг O ₂

Отсюда отношение O : C : N : P = 125 : 42 : 7 : 1 и 150 : 42 : 7 : 1; последнее отношение отличается от отношения, приведенного в начале статьи, лишь первым членом, т. е. количеством кислорода.

Как известно, неоднократно производились сопоставления содержания на больших глубинах океана минеральных продуктов распада, т. е. количества N/NO₃ и P/PO₄, с дефицитом кислорода в этих слоях (11, 12, 14). Для ряда участков Атлантического океана найдено хорошее совпадение между содержанием указанных химических соединений и приведенными в начале статьи значениями кислородного эквивалента.

* Несмотря на значительное расхождение величин среднего состава озерного и морского планктона, вычисленные эквиваленты близки; но ввиду значительно большего числа анализов озерного планктона окончательно принимаем его кислородные эквиваленты.

Последнее обстоятельство объясняется тем, что процесс распада планктона идет главным образом во время опускания водных масс с поверхности на большие глубины океана (но не в поверхностных слоях).

Однако для многих участков Атлантики содержание нитратов и фосфатов превышает дефицит кислорода; такое положение объясняют тем, что в этих областях процессы распада протекали в значительной степени в поверхностных слоях океана. В свете же новых величин кислородных эквивалентов последнее объяснение, очевидно, должно быть принято и для всех областей океана, что согласуется с результатами изучения скоростей распада планктона (2).

Безусловно необходима опытная проверка величин кислородного эквивалента. Из данных, полученных нами в опыте по разложению пресноводного планктона в течение 54 дней (2), отношение потребления кислорода к образовавшимся минеральным производным N и P следующее: O : N = 29 : 1 и O : P = 360 : 1 (в мг); при этом отношение прироста в воде минеральных N : P = 12.

3. Для растворенного в воде органического вещества, которое представлено главным образом стойкими соединениями, также принимается глюкозный кислородный эквивалент, т. е. считается, что на окисление 1 мг вещества требуется 1,2 мг O₂ (для озер (17), для морей (16, 18)). Анализ отдельных групп органических соединений показал наличие в растворенном органическом веществе углеводов, белков и даже жиров (4, 10). Однако, конечно, правильнее считать, что это углеводоподобные и белковоподобные соединения, что вполне очевидно для почвенного гумуса при сопоставлении элементарного и группового его состава. В табл. 2 приводится средний групповой состав органического вещества пресных и морских вод.

Таблица 2

Средний состав растворенного органического вещества пресных и морских вод

	Воды озер (4)		Морские воды (18)
	дистрофных*	эвтрофных	
Углеводоподобные	91	69	72
Белковоподобные	8	28	28
Жиры	1	3	—

* Воды с большим содержанием гумусовых веществ.

Интересно отметить почти одинаковое содержание отдельных групп органических соединений в органическом веществе эвтрофных озер и органическом веществе морской воды — это, очевидно, есть результат того, что основным источником органического вещества являются планктические организмы.

Расчеты кислородных эквивалентов, произведенные как это описано выше, дали следующие результаты: 1,2 — 1,4 — 1,3 мг O₂. Присоединяя сюда тот кислород, который идет на нитрификацию белков, получим следующие величины кислородных эквивалентов: 1,3 — 1,5 — 1,5 мг O₂. Ввиду практического сходства величин кислородного эквивалента для органического вещества вод эвтрофных озер и морей

Таблица 3

	Озера дистроф- ные	Озера эвтрофные и моря
Без учета нитрификации . . .	1,2	1,3
С учетом нитрификации . . .	1,3	1,5

возможно объединение полученных величин. Тогда окончательные величины представляются следующим образом (табл. 3).

Вычисление величин кислородных эквивалентов для элементов, составляющих органическое вещество вод, затрудняется малочисленностью необходимого аналитического материала. Но во всяком случае эти величины будут значительно отличаться от того, что известно для планктона, в силу значительного отличия элементарного состава.

Институт геохимии и аналитической химии
Академии Наук СССР

Поступило
24 VI 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. П. Виноградов, Тр. биогехим. лаб., 3, 63 (1925); 5, 47 (1939).
² Б. А. Скопинцев и Е. С. Брук, Микробиология, 9, № 6 (1940). ³ E. Birge and Ch. Juday, Quantity and Chemical Composition of Plankton, 1, Madison, 1922.
⁴ E. Birge and Ch. Juday, Ecolog. Monogr., 4, 440 (1934). ⁵ K. Brandt and E. Raben, Wiss. Meeruntersuch., 19, 173 (1919—1922). ⁶ R. Fleming, Proc. 6 Pacif. Sci. Congr., 1940. ⁷ H. Gilson, The Nitrogen Cycle, no Flemingy¹) (1937).
⁸ H. Harvey, Recent Advances in the Chemistry and Biology of Sea Water, Cambridge, 1941. ⁹ K. Kalle, Der Stoffhaushalt des Meeres, Leipzig, 1943. ¹⁰ A. Krogh, Ecolog. Monogr., 4, No. 4 (1934). ¹¹ A. Redfield, James Johnston Memorial, 1934.
¹² A. Redfield, Pap. Phys. Oceanography and Meteorol., 9, No. 2 (1942). ¹³ H. Seiwel, J. du Cons., 10, No. 1 (1935). ¹⁴ H. Sverdrup, M. Johnson and R. Fleming, The Oceans, N. Y., 1942. ¹⁵ E. Voit, Z. Biologie, 44, 345 (1903).
¹⁶ S. Waksman and C. Carrey, J. Bact., 29, 531 (1935). ¹⁷ Cl. Zobell, Biol. Bull., 78, No. 3 (1940). ¹⁸ Cl. Zobell, J. Bact., 46, 39 (1943).