

ВЗВЕШЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ТРОФНОСТИ И ПРОДУКЦИОННО- ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В МОРЕ (КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ОБЗОР)

Э.3. Самышев

Институт биологии южных морей
НАН Украины
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: esamyshev@mail.ru

В приведенном обзоре в краткой форме рассматриваются важнейшие вопросы, связанные с исследованием взвешенного органического вещества в море.

Взвешенное органическое вещество (ВОВ) в море «может быть живым или мертвым», оно «вместе с неорганическим веществом представляет собой детрит» [2]. ВОВ в морях и океанах формируется «из различных остатков отмерших животных и растений; фекальных комков животных; живых планктонных водорослей; бактерий и простейших; яиц, личинок и других возрастных стадий зоопланктона, а также из агрегированного или осажденного из раствора органического вещества. Основная часть ВОВ представлена фракцией, имеющей размеры от 0,45 – 1 мкм до 0,15 – 0,2 мкм» [5]. При этом многими авторами показано, что планктонные организмы составляют незначительную часть ВОВ. Основная же его масса (80 – 97 % и более) представлена мертвым органическим веществом животного и растительного происхождения [28, 13, 15, 30, 17, 12, 18].

Колебания в содержании живой фракции в ВОВ отражают уровень количественного развития тех или иных компонентов планктона. Так, например, даже в олиготрофных водах тропической Атлантики доля фитопланктона в ВОВ в зависимости от уровня развития первого колеблется в пределах двух порядков (0,05 – 4,77 %) [11]. При «цветении» воды доля живой компоненты в ВОВ может возрастиать до 70 – 100 % [23].

Взвешенное органическое вещество содержит углерод, азот и фосфор, необходимые для жизнедеятельности водных организмов. В зависимости от доли жи-

вой составляющей биогенной взвеси соотношение этих элементов в ВОВ изменяется соответственно от 100:8:2 [18] до 100:17,7:2,45 [24]. Преобладание в ВОВ углерода позволяет, с одной стороны, оценивать обилие ВОВ по этому показателю, с другой – с определенной степенью приближения использовать при сравнительном анализе данные по ВОВ других авторов, применявших иные методы определения органики во взвеси (мокрое сжигание, гравиметрия + озоление и др.).

К этому следует указать, что использование разными авторами в прошлом различных методов сбора и определения ВОВ во взвеси затрудняет сравнительный анализ содержания её в отдельных районах океана. В частности, показано [16, 19], что при использовании для сбора бумажных фильтров, как это имело место у ряда авторов [27, 28] и др., не улавливаются мелкие фракции взвеси. В результате данные о содержании взвеси в исследованных ими районах оказываются заниженными. Напротив, при сборе взвеси на мягкие насыпные фильтры – тальк, магний, стеклянный порошок и др. [26, 4 и др.] задерживается более чем вдвое органического вещества, чем на мембранные фильтры №2 (с порами 0,4 мкм), что по-видимому, связано с улавливанием коллоидов и адсорбией компонентов растворенного органического вещества на этих фильтрах [14]. Аналогичная разница в результатах получена и нами при использовании параллельно мембранных фильтра №3 (диаметр пор 0,7 мкм) и насыпного фильтра (стеклянный порошок) для сбора взвеси в экваториальной зоне Атлантики [8]. Исследованиями взвеси, собранной в разных районах Атлантического океана на фильтр №3, параллельно двумя методами – микроскопированием и методом иодатного сжигания [11] в целом получена сходная картина распределения в них ВОВ. Достоинством микроскопирования является возможность выявления и оценки доли биогенных (органических, кремниевых, карбонатных) и abiогенных компонентов во взвеси. Однако этот метод менее точен при учете органической составляющей взвеси и, конечно, значительно более трудоемок.

В настоящее время для учета валового содержания органического вещества предпочтение отдается сбору взвеси на стекловолокнистые или мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 – 1,0 мкм с последующим «мокрым» сжиганием (в первом случае) или озолением при 450 °C (во втором).

Взвешенное органическое вещество, создаваемое в водоемах в результате разнонаправленных процессов (продукции и деструкции), приблизительно в 50 раз превышает годовую продукцию фотосинтеза [25]. Исследования его содержания в разных районах Океана и морях представляют интерес в трех аспектах:

- индикация трофности (продуктивности) того или иного района Океана или моря;
- оценка функциональной роли ВОВ в производственно-деструкционных процессах в том или ином районе Океана или моря;
- оценка его седиментационного выноса из фотической зоны в батипелагию и на шельф.

По первому аспекту накопленные многочисленные сведения приводятся в обширной сводке Е.А. Романцевича [7], где представлены данные о распределении углерода взвеси в Мировом океане на разных глубинах.

Так, в поверхностном слое (0 – 7 м) Мирового океана его количество во взвеси составляет в среднем $53,1 \pm 26,4$ мкг*л⁻¹ (или $0,1062 \pm 0,0532$ мг сухого органического вещества*л⁻¹). В Тихом океане в слое 0 - 100 м оно равно $63,7 \pm 32,0$ мкг*л⁻¹ (или $0,1274 \pm 0,0640$ мг сух. орг. вещества*л⁻¹), т.е. трофность Тихого океана выше таковой Океана в целом, и тем более Атлантического и особенно Индийского океанов. Об этом свидетельствует и большее богатство Тихого океана рыбными промысловыми ресурсами [3].

В сравнении с приведенными сведениями по Океану в целом и даже по Тихому океану содержание ВОВ в Черном море по данным крупномасштабных исследований взвеси, осуществленных при проведении уникального эксперимента с охватом разных сезонов в 1992–1993 гг., выше на порядок [10]. Более того, эти данные свидетельствуют о возросшей

эвтрофированности Черного моря по сравнению с 60-ми годами XX столетия почти в 3 раза. При этом содержание ВОВ в фотическом слое океанической зоны Черного моря претерпевало сезонные изменения согласованно с другими компонентами сестона. Средневзвешенные значения его обилия от весны 1992 г. к зиме 1993 г. закономерно изменились от 2,03 до 0,4 мг сух. веса * л⁻¹.

По второму аспекту. Еще в конце 60-х годов прошлого столетия Т.С. Петтипа, Е.В. Павлова и Г.Н. Миронов [6] на суточных станциях в западной халистазе Черного моря осуществили экспериментально-полевые исследования структуры эпи- и батипланктонного сообществ, функциональных характеристик их компонентов (прироста, трат на обмен, суточных рационов), темпа образования детрита и его потребления компонентами планктонных сообществ эпи- и батипелагиали. Ими впервые была получена схема пищевых связей, выявлены пути и оценены потоки переноса вещества и энергии в этих планктонных сообществах [6]. Эпипланктонные организмы, представленные главным образом мелкими фильтраторами, в значительной степени потребляют детрит. Суточная скорость потребления детрита в эпипланктонной системе составляет 20 % суммарной биомассы живых организмов. Темп образования детрита эпипланктонным сообществом оценивается в 42 % от биомассы живых организмов.

Основной поток вещества и энергии в батипланктонной системе, в противоположность эпипланктонной, проходит через крупные формы. Детрит батипланктонными формами используется в большей степени, чем эпипланктонными – суточная скорость его потребления в этой системе составляет 45 % биомассы живых организмов. Темп образования детрита батипланктонным сообществом – чуть больше 13 % живой биомассы. По этому показателю эпипланктонное сообщество почти втрое превосходит батипланктонное.

Полученные этими авторами данные являются своего рода моментальным срезом ситуации весной на четырех станциях в западной халистазе, поэтому результаты не могут быть экстраполиро-

ваны во времени и пространстве на более продолжительные сроки и на все море. Но это не умаляет их научной и методологической ценности.

Сведения о сезонном пополнении ВОВ могут быть использованы для верификации данных о темпах продукции фитопланктона на начальной фазе сукцессии планктона в целом. Особенно актуальными эти сведения оказались при исследованиях на больших пространствах в Антарктике, когда из-за разреженности сетки станций, на которых измерялась продукция фитопланктона, не охватывались локальные зоны максимумов его развития. В результате оказалось, что темпы сезонного пополнения ВОВ в водах региона моря Содружества на порядок превышали значения первичной продукции, измеренные радиоуглеродным методом, и, напротив, удовлетворительно согласовывались с результатами расчетов последней с помощью модели [9, 31].

Содержание углерода в сухом органическом веществе составляет в среднем 50 %. Зная содержание золы во взвеси и исходя из калорийности углерода, легко рассчитать энергетический эквивалент сухого органического вещества.

Однако известно, что ВОВ состоит из нестойкой, легко окисляемой, и стойкой, трудно окисляемой, фракций. Последняя (называемая взвешенным гумусом) составляет около 30 – 40 % всей взвешенной органики. Соответственно этому обе фракции, имея сходную «физическую калорийность», радикально отличаются «физиологической калорийностью». «Большое значение в круговороте органического вещества в море имеет именно нестойкая фракция органической взвеси, так как только эта часть, благодаря возможности окисляться, служит полезной пищей живым организмам» (цит. по Т.С. Петипа [5]). По ориентировочным расчетам [18] количество ВОВ, способное окислиться на всех глубинах тропических вод, составляет 60 – 70 % общей массы взвеси, при этом нестойкое ВОВ при температуре 30 °C может окислиться за 1,5 суток.

Вопрос об использования в пищу дегрита зоопланктоном и эффективности его усвоения длительное время дискути-

ировался, пока рядом авторов не были проведены «прицельные» эксперименты.

Серией экспериментов Корнера с соавторами [20 – 22], основанных на измерении рационов по балансу аминокислот, показано, что при питании взвесью из морской воды ежесуточные пищевые потребности *Calanus helgolandicus* составляли 25,3 % и более от сухой массы тела раков. Свидетельствуя о положительной роли ВОВ как пищи для раков, эти авторы, однако, отметили недостаточность одного ВОВ для этих животных в зимний период депрессии планктона, в связи с чем взрослые копеподы либо голодают, либо хищничают.

Иные результаты в экспериментах с самками *C. helgolandicus* получены Паффенхофером и Стрикландом [29] при использовании в качестве корма дегрита разного происхождения. Раки интенсивно потребляли свежий дегрит, приготовленный из диатомей *Ditylum* и *Skeletonopeta*, и так же активно потребляли фекальные комки, собранные в экспериментальных емкостях и вновь предложенные им в качестве пищи. При концентрации 370 – 660 мкгС*л⁻¹ раки на дегриите имели скорость фильтрации, сходную с таковой при фильтрации водорослей.

Т.С. Петипа [5] на основании экспериментальных работ с веслоногими ракообразными из разных районов тропической Пацифики и из Черного моря с применением радиоуглеродного метода пришла к заключению, что «основным источником пищи этих животных (составляющих львиную долю в морском зоопланктоне – Э.С.) является взвешенное органическое вещество. При этом наиболее важное значение для всех процессов жизнедеятельности копепод имеют живые планктонные относительно крупные водоросли и животные, а иногда и бактерии. Из косного вещества только свежий дегрит может служить дополнительной, достаточно хорошо используемой раками, пищей, возмещающей недостаток живых кормов. Медленно окисляющийся взвешенный гумус и растворенное органическое вещество практически не играют никакой роли в питании Сорепода».

Третий аспект представляет интерес прежде всего для оценки масштабов подпитки энергией батипланктонного комплекса планктонного сообщества и бентосных сообществ шельфа в том или ином море. Нами, при участии в вышеуказанном уникальном эксперименте в Черном море [10] на основании прямых измерений с применением детритных ловушек установлена сравнительно высокая интенсивность седimentации взвеси и ее органической фракции в трех районах Черного моря, связанная с их обилием, в том числе с его сезонной изменчивостью, и гидродинамическими условиями в местах измерений.

В определенной мере результаты исследований содержания ВОВ и интенсивности его седimentации представляют интерес и при изучении процессов самоочищения моря от поллютантов различной природы. Кстати, полученные нами результаты прямых измерений седimentации общей взвеси и ВОВ в Черном море [10] хорошо согласуются с данными её измерений с помощью ^{234}Th [1] в западной халистазе Черного моря в период наших работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гулин С.Б., Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Кривенко О.В., Стокозов Н.А., Жерко Н.В. Изучение сезонной динамики седиментационного выноса взвешенного вещества, биогенных элементов и загрязняющих веществ из поверхностного слоя вод Черного моря в период с 1992 по 1994 гг. // Геохимия. – М.: 1995. – С. 863 – 873.
- Кушин Д.Г. Моделирование производственного цикла в море / Основные проблемы океанологии. – М.: Наука, 1968. – С. 122 – 137.
- Моисеев П.А. Биологические ресурсы Мирового океана. – М.: Пищевая промышленность. – 1969. – 339 с.
- Остапенко А.П., Ковалевская Р.З. О содержании взвешенного органического вещества в поверхностном слое морских вод // Океанология. – Т. 5, № 4. – 1965.
- Петина Т.С. Трофодинамика кopepod в морских планктонных сообществах. – К.: Наукова думка. – 1981. – 242 с.
- Петина Т.С., Павлова Е.В., Миронов Г.Н. Структура пищевых сетей, передача и использование вещества и энергии в планктонных сообществах Черного моря // Биология моря. – Вып. 19. – К.: Наукова думка, 1970. – С. 3 – 43.
- Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. – М.: Наука. – 1977. – 256 с.
- Самышев Э.З. К изучению сестона Гвинейского залива // Тр. Калининград. ин-та рыб. пром-сти и хоз-ва. – 1968. – Вып. 20. – С. 9 – 23.
- Самышев Э.З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. – М.: Наука, 1991. – 168 с.
- Самышев Э.З. Содержание взвешенного органического вещества и интенсивность его седimentации в фотическом слое вод Черного моря // Системы контроля окружающей среды / Средства, информационные технологии и мониторинг. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – С. 352 – 359. <http://www.nbuv.gov.ua/Portal/natural/Skns/2009/articles/09sezvcm.htm>
- Самышев Э.З., Максимов А.М. Сравнительное содержание основных компонентов взвешенного вещества в водах Атлантического океана // Библиогр. указ. ВИНТИ. Деп. Рук. (Естест. и точные науки, техника) №1, (87), 1979. – С. 63. – Деп. в ВИНТИ, № 197 Деп.
- Сухорук В.И., Самышев Э.З. Количественное соотношение компонентов органического вещества в водах Гвинейского залива // Гидробиол. журн. – 1969. – Т. 5, вып. 3. – С. 34 – 39.

13. Сущеня Л.М. Некоторые данные о количестве сестона в водах Эгейского, Ионического и Адриатического морей // Океанология.– 1961. – Т. 1, вып. 4. – С. 664–669.
14. Сущеня Л.М. Детрит и его роль в продукционном процессе в водоемах // Гидробиол. журн. – Т. 4, вып. 2. – 1968.
15. Сущеня Л.М., Михалкович В.И. Количество сестона в восточной части Рижского залива летом 1958 г. // Тр. НИИРХ СНХ Латв. ССР.- Т.3. – Рига, 1961.
16. Сущеня Л.М., Финенко З.З. Содержание взвешенного органического вещества в водах тропической Атлантики и некоторые количественные соотношения между его компонентами // Океанология. – 1966. – Т. 6, вып. 5. – С. 835 –847.
17. Финенко З.З. Содержание органического вещества в сестоне Черного и Азовского морей / Исследования planktona Черного и Азовского морей. - К.: Наукова думка. – 1965. – С. 12 – 16.
18. Финенко З.З., Остапеня А.П. Вертикальное распределение взвешенного органического вещества в тропических водах южного полушария Тихого океана / Функционирование пелагических сообществ тропических районов океана. – М.: Наука. – 1971. – С. 241–250.
19. Armstrong F.A., Atkins W.R.G. The suspended matter of sea water // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. – V. 29, N1. – 1950. – P. 139 – 143.
20. Corner E.D.S. On the nutrition and metabolism of zooplankton. I. Preliminary observations on the feeding of marine copepod, *Calanus helgolandicus* (Claus) // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. – V. 41. – 1961. – P. 5 – 16.
21. Corner C.B., Corner E.D.S. On the nutrition and metabolism of zooplankton. II. The relationship between marine copepod *Calanus helgolandicus* and particulate material in Plymouth sea water, in terms of amino-acid composition // J. Mar. Biol. Assoc. U.K.– V. 43. – 1963. – P. 495 – 511.
22. Corner E.D.S., Heed R.N., Marshall S.M. On the nutrition and metabolism of zooplankton. IX. Studies relating to the nutrition of over-wintering *Calanus* // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. – V.54. – 1974. – P. 319 – 331.
23. Finenko Z.Z., Zaika V.E. Particulate organic matter and its role in the productivity of the sea / Marine food chains (Steele J.H. - Ed.) – Edinburgh: Oliver and Boyd, 1970. – P. 32 – 44.
24. Fleming R.H. The composition of plankton and units for reporting population and production // Proc. 6-th Pacific Sci. Congr. –V.3.-Vancouver, 1940.–P. 535–540.
25. Fox D.L. Organic detritus in the metabolism in the sea // Sci. Mon. – V. 80. – N.-Y., 1955. – P. 256 – 259.
26. Fox D.L., Isaacs I.D., Corcoran E.F. Marine leptopel, its recovery measurement and distribution // J. Mar. Res. – V.11, N 1. – P. 29 – 46.
27. Hagmeier E. Zum Gehalt an Seston und Plankton im tropischen Atlantik // Helgolander Wiss. Meersuntersuch. – V. 11, N 3-4. – 1964. – P. 270 – 286.
28. Krey J. Die Untersuchung des Eiweißgehaltes in kleinen Planktonproben // Kieler Meersforsch.–1952. – B8, H.2.
29. Paffenholz G.-A., Strickland J.D.H. A note on the feeding of *Calanus helgolandicus* on detritus // Mar. Biol. – 1970. – V. 5. – P. 97 – 99.
30. Parsons T.R. Suspended organic matter in sea water / Progress in oceanography (Sears M. – Ed.).– Oxford: Pergamon Press, 1963. – P. 205 – 239.
31. Samyshev E.Z. Antarctic krill and the structure of planktonic community in its distribution area. - The 2nd ed. (expand.)– М.: Nauka, 1991. – 168 p. – (Acad. of Sci. of the USSR. All-Union Hydrobiol. Soc.) +the recently included Chapter VI. - Sevastopol: ECOSEA-Hydrophysics Sci. Prod. Ass., 2002. – 268 p.