

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ ИМ. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ

1871



ИНБЮМ

38

1991

of CO_2 annually). Neglecting the biomass growth in the sea this corresponds to the burial of $3,1 \cdot 10^7$ t on nonoxidated organic sediments per year, it is about 20% of the sea primary production in terms of carbon. Release of CO_2 is connected with appearance of carbonates in the river discharge.

УДК 556.1:502.656(262.5)

Н. А. БЕРЛИНСКИЙ, Ю. М. ДЫХАНОВ

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ПРИДОННОЙ ГИПОКСИИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Исследуется проблема возникновения зон дефицита кислорода (гипоксии) в придонном слое воды на северо-западном шельфе Черного моря. Используется обширный материал гидрологических съемок за 1973—1985 гг. Проведено районирование зон гипоксии по географическому признаку. Выявлена связь между существованием «сентябрьской» гипоксии в районе Дунайско-Днестровского междуречья и смещением максимума паводка этих рек на более поздний срок. Показано, что гипоксия не возникает в маловодные годы, получены количественные подтверждения этого вывода.

В настоящее время проблема дефицита кислорода (гипоксии) в придонных слоях окраинных и внутренних морей приобрела глобальный характер (мелководье у побережья США, Индии, Балтики, в Черном и Азовском морях, на Каспии). Различные исследователи связывают это явление с избыточным количеством органических веществ, попадающих в прибрежную зону морей, с бытовыми и промышленными стоками. В северо-западной части Черного моря основными источниками таких стоков являются Дунай, Днепр и Днестр. К такому выводу приводят данные о росте концентраций биогенных веществ, увеличении фито- и зоопланктона [2, 3].

Методика исследований. Оставаясь в рамках схемы антропогенного эвтрофирования как основной причины кислородного истощения придонных вод северо-западной части Черного моря в летне-осенний сезон, в статье исследуется зависимость существования «сентябрьской» гипоксии не от гидрохимического режима стока основных рек Северного Причерноморья, что не вызывает сомнений, а от количества и внутрисезонного распределения пресного стока.

Отметим, что гидрограф стока Днепра и Днестра как рек, полностью зарегулированных, в основном определяется величиной и продолжительностью искусственных пусков, тогда как сток Дуная в значительной степени подвержен влиянию естественных макросиноптических процессов. Преимущество такого подхода к изучаемому предмету — доступность данных о пресном стоке. Кроме того, основная посылка не противоречит концепции антропогенного эвтрофирования, поскольку очевидно, что при мощном паводке происходит более интенсивный вынос органики и минеральных удобрений в реки и далее в море, обеспечивающий повышение трофии морских вод.

Наличие придонной гипоксии в северо-западной части Черного моря в зависимости от межгодовой изменчивости пресного стока Дуная, Днепра и Днестра рассматривалось во временном интервале с 1973 по 1984 г., т. е. с начала периода, когда баланс кислорода в придонном слое стал характеризоваться резко выраженным дефицитом. Данные о пресном стоке Дуная, Днепра и Днестра взяты по створам Рени, Каховской ГЭС и Бендер соответственно. Зоны придонной гипоксии получены в результате многолетних съемок на НИС «Миклухо-Маклай» Одесского отделения Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского АН УССР. К этим зонам мы относили области шельфа, содержащие в придонном слое менее $2 \text{ мл } \text{O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$ растворенного кислорода. Для сопоставления результатов выбирались съемки, проводимые в

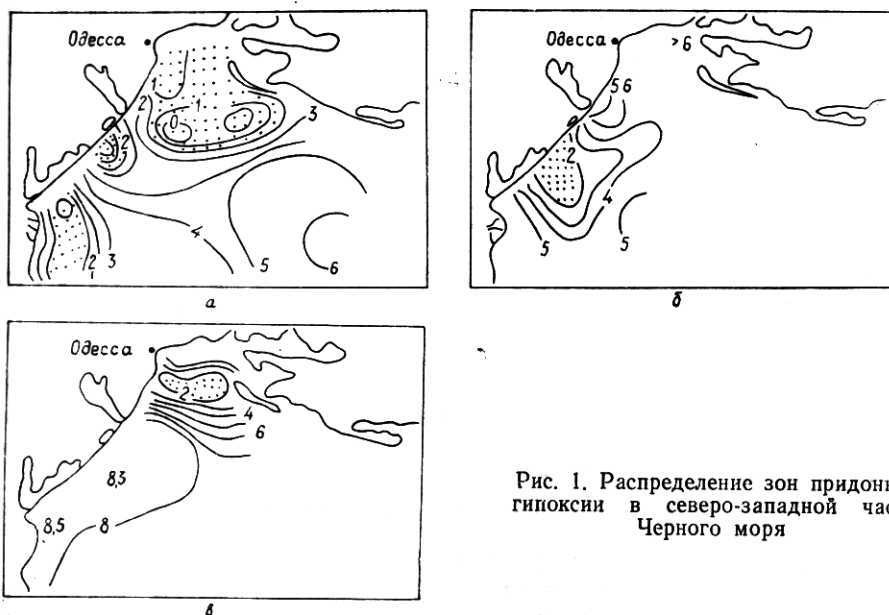


Рис. 1. Распределение зон придонной гипоксии в северо-западной части Черного моря

сентябре как наиболее обеспеченном наблюдениями месяце. Пелагиаль к этому времени в условиях, как правило, слабой динамической активности водных масс насыщается биогенными веществами, а вертикальная стратификация становится настолько мощной, что ограничивает практически всякую аэрацию. По данным [1], летом разность плотности на верхней и нижней границах пикноклина в северо-западной части Черного моря достигала $3-7 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, а в отдельных случаях — $8-10 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Результаты и их обсуждение. Проанализировав географию зон гипоксии за десятилетие, можно выделить три наиболее характерные и часто встречающиеся зоны: одесскую, центральную и дунайскую. Безусловно встречаются их модификации — трансформация, слияние в одну обширную либо наличие только одной или двух зон из трех названных. Как видно из рис. 1, а (съемка за сентябрь 1974 г.), все три зоны выделяются особенно четко, в сентябре 1976 г. (рис. 1, б) проявилась только центральная, а в сентябре 1983 г. (рис. 1, в) — только одесская зона. Таким образом, сочетания могут быть самыми разнообразными как по пространству, так и во времени.

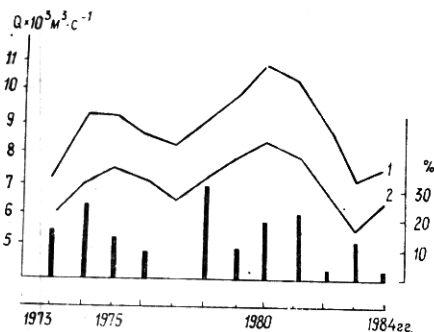


Рис. 2. Межгодовая изменчивость среднегодовых расходов Дуная, Днестра, Дnieпра и зон придонной гипоксии в северо-западной части Черного моря:

1 — суммарная величина среднегодовых расходов Дуная, Днестра и Днепра, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; 2 — среднегодовой расход Дуная. Диаграмма отражает площадь зон гипоксии, выраженную в процентах от общей площади северо-западной части Черного моря, взятой к северу от условной линии м. Тарханкут — устье Дуная

Оценивая зависимость существования и размеров сентябрьской гипоксии в северо-западной части Черного моря от суммарной величины пресного стока Дуная, Днестра и Днепра (рис. 2), можно прийти к выводу, что при наличии общих, однонаправленных тенденций возможны весьма существенные отклонения, например 1975, 1980, 1981 и 1983 гг. Очевидно, что механизм развития гипоксии достаточно сложен и связан не только с величиной пресного стока, но и с его сезонным распределением. Исходя из этого предположения были построены графики суммарного стока паводковых месяцев (март — июнь) для каждой из трех рек, а также рас-

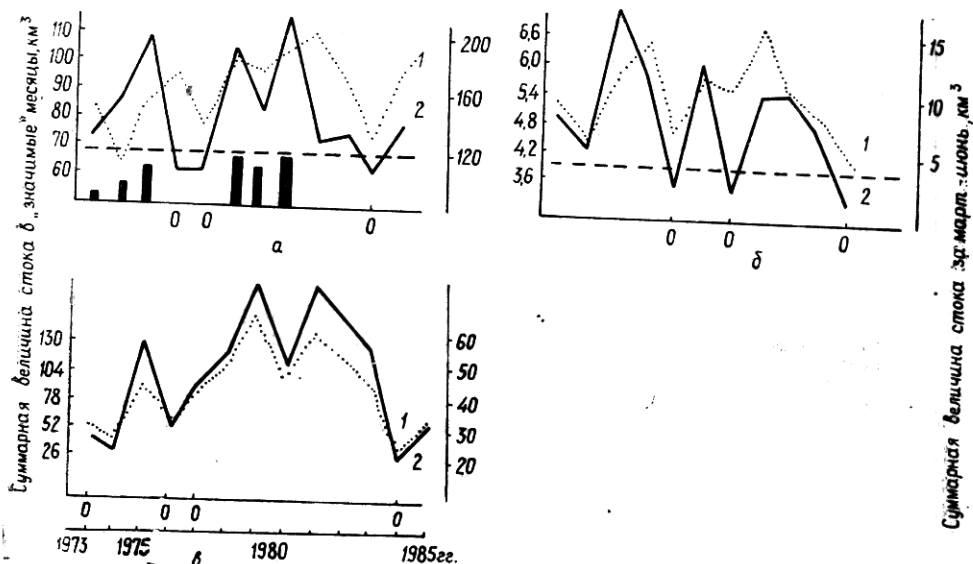


Рис. 3. Графики суммарных величин стоков паводковых (март — июнь) и «значимых» месяцев для существования придонной гипоксии в сентябре для: а — Дуная, б — Днестра, в — Днепра (1 — межгодовая изменчивость суммарной величины стока за март — июнь; 2 — межгодовая изменчивость суммарной величины стока в «значимые» месяцы). Знаком «0» отмечены годы без гипоксии в сентябре. Диаграмма отражает площадь (%) зоны Дунайской гипоксии в сентябре

считаны относительные площади гипоксии для каждого из трех выделенных районов (рис. 3). При этом предполагается, что речной сток в достаточной мере насыщен биогенными веществами, необходимыми для создания эвтрофных вод в пределах акватории северо-западной части Черного моря.

Детальное изучение распределения пресного стока в течение паводковых месяцев позволило выделить из них «значимые» для гипоксии. Так, для Дуная такими месяцами оказались июнь, июль, для Днестра — май, июнь (см. рис. 3). При относительно малом стоке Дуная в июне — июле площадь дунайской гипоксии в сентябре мала или гипоксия вообще отсутствует (1976, 1977, 1983 гг.), тогда как сток за март был достаточно велик. Условным критерием здесь может служить величина стока Дуная (за март — июнь), равная 70 км^3 . И наоборот, мощная гипоксия совпадает с высокими значениями суммарного стока за июнь — июль при смещении пика половодья на более поздние сроки (см. рис. 3, а), например в 1974, 1975, 1978—1980 гг.

Днестровский сток, в большей степени ответственный за зону центральной гипоксии (см. рис. 3, б), на два порядка ниже дунайского. При ветрах северных румбов именно трансформированные днестровские воды в летний период образуют зоны стагнации, или зоны пониженной динамической активности, обусловленные топографическими вихрями (район Дунайско-Днестровского междуречья, Шаганская банка), аккумулирующими значительные концентрации биогенных веществ, выносимых рекой, где и формируется придонная гипоксия. При ветрах южных и юго-западных румбов эта зона подвержена также влиянию дунайских вод, что увеличивает ее значение как зоны экологического риска.

Из рис. 3, б видно, что сентябрьская гипоксия в центральной зоне наблюдается при суммарном стоке Днестра в мае — июне менее 4 км^3 , причем величина мартовского половодья, хотя и значительная, на этот процесс не влияет. По данным за 1979 г. можно сделать некоторые выводы о влиянии стока Дуная на образование центральной зоны гипоксии. В этом году был зарегистрирован достаточно большой сток Дуная,

который обусловил дунайскую зону гипоксии, однако не повлиял на образование гипоксии в центральной зоне. Таким образом, и дунайская, и центральная зоны гипоксии в сентябре зависят от суммарной величины стока Дуная за июнь — июль и стока Днестра за май — июнь соответственно. Суть процесса, по нашему мнению, объясняется следующим. Раннее половодье — с марта по май — выносит в море основную массу биогенных веществ (кормовую базу фитопланктона) тогда, когда активность фотосинтеза еще не достигла максимума и низкая температура воды не способствует интенсивному развитию водорослей. По мере смещения пика половодья на более поздний срок внешние условия для развития фитопланктона становятся все более благоприятными — увеличивается продолжительность светлого времени суток, прогревается поверхностная водная масса, заглубляется сезонный термоклин, расширяя жизненное пространство пелагиали. Активность развития фитопланктона при мощном поступлении питательных веществ резко возрастает, что часто приводит к «цветению» воды. В дальнейшем по окончании жизненного цикла отмерший планктон вместе с детритом, оседая на грунт в процессе минерализации, интенсивно потребляет кислород в придонном слое, что приводит к гипоксии или полному исчезновению кислорода — аноксии. Но не исключено, что раннему паводку соответствует раннее развитие гипоксии и относительно раннее ее исчезновение. Например, в 1983 г. максимум развития гипоксии во всех зонах пришелся на июнь — август, а в сентябре дунайская и центральная зоны уже обогатились водами, насыщенными кислородом, и только в одесской зоне осталась достаточно обширная область с концентрациями растворенного кислорода в воде менее $2 \text{ мл O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$ (114—116-й рейсы НИС «Миклухо-Маклай»).

Рассматривая одесскую зону гипоксии и пресный сток Днестра (см. рис. 3, в), отметим особенность годового распределения стока. В отличие от Дуная пик половодья Днестра подвергся значительной антропогенной деформации. Несмотря на то, что Днестр, как и Днепр, полностью зарегулирован, деформация его стока незначительная, тогда как сток Днепра имеет два пика: в марте и в конце июня, а иногда и третий — в октябре. Это свидетельствует о значительной антропогенной обусловленности внутригодового распределения стока Днепра и затрудняет его оценку, а также определение степени влияния на одесскую зону гипоксии. Помимо этого бытовые стоки такого крупного промышленного центра, как Одесса, безусловно, оказывают негативное влияние на экологию моря, в частности на придонную гипоксию. Тем не менее можно выявить качественную связь между величиной стока Днепра и образованием одесской зоны гипоксии. Сток Днепра в рассматриваемый период имеет явно выраженное увеличение (до 1983 г.). В первое, относительно маловодное пятилетие гипоксия наблюдалась в двух случаях из пяти, причем 1974 г. надо рассматривать как особый. В последующие годы, начиная с 1977 г., гипоксия наблюдалась постоянно. В 1984 г., когда суммарный весенний сток вновь понизился, процессы, определяющие гипоксию, ослабли. По нашим данным, выделить какой-либо количественный критерий для стока Днепра, связанный с гипоксией, затруднительно.

Выводы. При наличии зависимости развития придонной гипоксии в северо-западной части Черного моря от величины пресного стока рек выявлено, что в сентябре гипоксия наблюдается при временном смещении пиков половодья на более поздние сроки. Причем если пик половодья смещен или растянут во времени, необходимым условием появления гипоксии может служить количественный критерий, а именно: для Дуная величина пресного стока должна быть не менее 70 км^3 за июнь — июль, для Днестра — не менее 4 км^3 за май — июль. Статистическая теснота связи величины пресного стока и зон гипоксии определяется коэффициентом корреляции, равным 0,65, что при 95%-м уровне значимости имеет смысл в случае высокой степени эвтрофности водных масс.

1. Берлинский Н. А., Тужилкин В. С. Особенности весенне-летней эволюции придонных концентраций кислорода и плотностной стратификации вод в северо-западной части Черного моря // Материалы конф. «Совершенствование управления развитием рекреационных систем» (Севастополь, 4—6 апр. 1985 г.). Ч. I. — С. 31—55. — Деп. в ВИНТИ 16.10.1985, № 7284—В.
2. Нестерова Д. А. Фитопланктонные сообщества в шельфовой экосистеме. Системный анализ и моделирование процессов на шельфе Черного моря // Сб. статей АН УССР. Мор. гидрофиз. ин-т. — Севастополь, 1983. — 152 с.
3. Полищук Л. Н., Настенко Е. В., Гаркавая Г. П. Некоторые особенности состояния пелагического и нейстонного зооценозов Черного моря // Экология моря. — 1984. — Вып. 18. — С. 25—34.

Одес. отд-ние Ин-та биологии юж. морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР,
Одес. гос. ун-т

Получено 29.09.89

N. A. BERLINSKY, Yu. M. DYKHANOV

ON THE PROBLEM OF FORMATION OF THE BOTTOM HYPOXIA IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE BLACK SEA

Summary

Hydrological surveys of the north-western part of the Black Sea for 1973—85 give grounds for regioning the hypoxia zones and revealing the relations between their area and the amount of the rivers' fresh-water discharge in certain months of the year. This dependence is most precisely manifested on the example of the Danube river.

УДК 543.8:577.1 (262.5)

А. Н. БОБКОВА

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧЕРНОМОРСКОЙ ВЗВЕСИ

В трансформированном взвешенном веществе, накапливаемом в течение 10 сут в шельфовой зоне Черного моря, определено содержание органического вещества, белка, углеводов. Содержание органического вещества колебалось в различные сезоны в пределах 30—45 мг на 100 мг сухой массы⁻¹, количество белка в сухой навеске составляло 2,5—13%, углеводов — 2—8%. Отмечена тесная корреляционная связь, рассчитаны уравнения линейной регрессии, описывающие зависимости между изучаемыми показателями. В числовой форме зависимость между органическим веществом (У) и белком (Х), органическим веществом (У) и углеводами (Х), углеводами (У) и белком (Х) имеет вид: $Y=28+0,87X$; $Y=30,1+0,95X$; $Y=0,68+0,45X$ соответственно.

Известно, что в море на остатках неживого органического вещества и на минеральных частицах [2, 4—6] поселяются бактерии. Вместе с сопутствующими им водорослями и простейшими они образуют взвесь, которая в процессе седиментации претерпевает значительные превращения и в таком виде, накапливаясь в поверхностном слое донных отложений, служит одним из источников пищи для бентосных гидробионтов. Пищевая ценность того или иного продукта зависит от содержания в нем органического вещества или его отдельных компонентов. Имеющиеся в литературе сведения об органическом составе взвешенного вещества получены в различных акваториях Мирового океана и в разные сезоны, причем в большинстве случаев приводятся результаты анализов свежееотфильтрованной взвеси [1, 5, 8].

Цель настоящей работы — изучение сезонной динамики содержания сухой массы, органического вещества, белка, углеводов, выявляющие зависимости между изучаемыми параметрами в частично трансформированном взвешенном веществе, осаждающемся в шельфовой зоне Черного моря.

Материал и методы. Объектом исследований служило взвешенное вещество, которое накапливали в 10-литровом эмалированном сосуде,

© А. Н. Бобкова, 1991