

ОСОБЕННОСТИ ВОДНЫХ МАСС БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

М. В. ФЕДОСОВ, Г. Н. ЗАЙЦЕВ

Гидрологический режим Балтийского моря — водоема внутриконтинентального типа, имеющего ограниченный водообмен с океаническими водами, — имеет ряд характерных особенностей.

Весьма обильный речной сток, вносящий в заливы и непосредственно в море значительное количество биогенных веществ, формирует основу первичной продуктивности Балтийского моря. Средняя величина речного стока в Балтийское море может быть принята равной 450 км^3 в год с отклонениями от средней до 8—10%. От всего объема моря это составляет около 2% и от объема фотического слоя моря 6%. В фотический слой центральной и южной Балтики непосредственно поступает тоже около 2% речных вод, считая к объему этого слоя.

По частям моря речной сток распределяется следующим образом.

Части моря	Речной сток в км^3
Ботнический залив	180
Финский залив	122
Рижский залив	30
Вислинский залив	2
Курский залив	21
Остальная часть моря	95

Биогенный речной сток характеризуется следующими величинами (за год в тыс. т): фосфора фосфатов 3,3; азота минеральных соединений 61,1; органических веществ 7400—8800. Полученные аналитические данные относятся в основном к речным водам восточного побережья СССР и в этом отношении не являются исчерпывающими.

Первичная продукция органического вещества в море, судя по фотосинтетическому обогащению фотического слоя кислородом, выражается весьма характерными величинами. Анализ экспедиционных наблюдений в море в 1947—1949 гг. и в 1955—1959 гг. свидетельствует, что в мае и июне происходит наиболее интенсивный фотосинтез и суточное приращение кислорода достигает $0,3 \text{ мл O}_2/\text{л}$, а иногда даже больше. С июля наступает значительное снижение интенсивности фотосинтеза, в среднем она в июле равна $0,2 \text{ мл O}_2/\text{л}$, в августе $0,1 \text{ мл O}_2/\text{л}$ и в сентябре заканчивается при небольшой вспышке до $0,18 \text{ мл O}_2/\text{л}$.

Продолжительность вегетационного периода в Балтийском море, а также в заливах, например Рижском, по сравнению с другими морскими водоемами как северными, так и внутриконтинентальными южными, невелика. По данным И. И. Николаева о развитии планктона, вегетационный период в Балтийском море продолжается с конца марта до сентября включительно. По гидрохимическим наблюдениям в море, активный фотосинтез начинается в апреле и заканчивается в сентябре, а в 1947 г. в Рижском заливе уже в конце августа нельзя было найти признаков активного фотосинтеза. В море в октябре слой воды, пересыщенный кислородом, можно найти только как исключение. В этом месяце наступает равновесие по содержанию кислорода между фотическим слоем и атмосферой.

Вегетационный период в Балтийском море длится 5—6 месяцев; при этом мощность фотического слоя меняется. Наибольшей мощности (40—50 м) слой воды, пересыщенной кислородом, достигает в мае и местами в апреле; в июне толщина его в среднем равна 20—22 м, в июле она едва достигает в среднем 15 м, а в августе — только 12 м. Наши данные за 1947—1949 гг. и 1955—1959 гг. показали, что в сентябре слой, пересыщенный кислородом, в среднем равен 8 м.

На основании приведенных данных первичную продуктивность Балтийского моря, по кислородному методу, можно принять равной 100—200 млн. т органического вещества фитопланктона, образующегося в море за год, считая, что продуктивность неисследованных частей моря более низкая.

Разница в содержании минеральных биогенных веществ в фотическом слое зимой и в вегетационный период характеризует интенсивность ассимиляции этих веществ фитопланктоном в период его развития и размножения. В 1955 г. в течение трех сезонов года проводили детальные гидрохимические наблюдения. Однако они показали, что, кроме ассимиляции минеральных биогенных веществ, происходит постоянное пополнение ими фотического слоя за счет речного стока.

В мелководных заливах Вислинском и Курском с площадями в несколько десятков квадратных километров на 1 м³ их объема (около 8 и 3 км³) за год поступает фосфатов 14—49 мг Р, минеральных соединений азота 250—700 мг, органических веществ 30—60 г.

В Финский и Рижский заливы площадью в 30 и 17 тыс. км², в которых объем фотического слоя составляет примерно половину их объема, на 1 м³ воды этого слоя поступает около 2—3 мг фосфора в год и около 30 мг азота минеральных соединений. С речным стоком поступает также около 3—4 г органических веществ.

В Ботническом заливе фотический слой составляет еще меньшую долю от объема воды в заливе. В этот залив, питающийся реками Скандинавии и финских берегов, поступает относительно меньше всего биогенных веществ: на 1 м³ воды фотического слоя приходится около 0,2—0,3 мг фосфора фосфатов и 5—6 мг азота минеральных соединений, а также около 1—2 г органических веществ.

Уже по результатам прежних исследований известно, что речной сток со Скандинавии резко отличается по солевому составу от стока с равнинных восточных и южных берегов Балтийского моря. В отношении же характеристик биогенного речного стока с западных и северных берегов Балтийского моря нам известно очень мало, и в целях решения вопроса о потенциальной продуктивности Балтийского моря крайне необходимы исследования в этом направлении. По тем же расчетам непосредственно в открытую часть моря южной и центральной Балтики на 1 м³ воды фотического слоя с речным стоком поступает около 0,2—0,3 мг фосфора фосфатов, 3—4 мг азота минеральных соединений и 200—300 мг органических веществ.

Приведенные величины, характеризующие снабжение биогенными веществами фотического слоя моря и заливов с суши и из атмосферы, недостаточны для обеспечения наблюдаемой интенсивности образования органического вещества растительного планктона в этих водах. Исключение составляют Курский и Вислинский заливы, в изобилии снабжаемые питательными веществами — продуктами эрозии почв.

В активном слое Балтийского моря происходит весьма интенсивная регенерация минеральных форм биогенных веществ путем биохимического окисления органического вещества, поступающего извне и образовавшегося и отмирающего в водной толще этого слоя. Биохимическое потребление кислорода (БПК), характеризующее этот процесс в верхнем слое Балтийского моря, протекает весьма интенсивно и в разных районах в среднем составляет 0,1—0,2 мг О₂/л за сутки. Это явление в значительной мере способствует процессу образования нового органического вещества в фотическом слое моря.

В то же время в морях существует и другой путь дополнительного снабжения фотического слоя питательными солями — поступление глу-

бинных вод в верхние слои. Характерной чертой гидрологического режима Балтийского моря является наличие в его глубоких впадинах придонных высокосоленных вод, поступающих из Северного моря через проливы и сосредоточивающихся в этих впадинах на глубине 70—80 м и ниже. Многочисленные наблюдения и анализы свидетельствуют, что в этих водах на единицу объема силикатов, фосфатов и нитратов приходится в 2—3 раза больше, чем в верхнем слое моря.

Объем глубинных высокосоленных вод от дна до глубины 70 м в Готландской, Гданьской и Борнхольмской впадинах Балтийского моря равен 1700 км³, что составляет около 12,5% к объему воды моря.

Различие в плотности верхних и глубинных вод в Балтийском море весьма велико, в связи с чем зимний вертикальный водообмен в зоне

Части моря	Биохимическое потребление кислорода в мг О ₂ /л в воде для двух слоев водной толщи за 3 суток (БПК ₃)	
	верхний слой	глубинный слой
Северная часть . . .	0,21—1,11	0,00
Готландская впадина	0,21—0,31	0,06—0,00
Подводное плато в районе желоба . .	0,41	0,00
Гданьская бухта . . .	0,45—0,55	0,00
Борнхольмская впадина	0,20—0,34	0,00

впадин весьма ограничен. Граница раздела двух водных слоев моря служит препятствием и для поступления органического детрита морских организмов из фотического слоя в глубинные воды. Имеющиеся данные свидетельствуют, что интенсивность биохимического окисления органического вещества в верхнем и глубинном слоях Балтийского моря весьма различна (см. таблицу).

В глубинной зоне кислород расходуется на окисление органического вещества менее интенсивно, чем в верхнем слое, т. е. так же, как в нижних слоях водоемов океанического типа. Это свидетельствует о давнем происхождении органического вещества, представленного стабильными формами. Лабильные соединения органического вещества отмирающих организмов в верхнем слое окисляются весьма интенсивно, как это происходит и в фотическом слое других морей этой зоны.

По солености и температуре глубинных вод, заполняющих впадины Балтийского моря, судят о происхождении этих вод, поступающих через проливы из Северного моря. Высокая минерализация обуславливает весьма большую изолированность их от верхних водных слоев.

Учитывая интенсивность водообмена в Балтийском море и его заливах, можно приступить к оценке обмена питательными веществами между различными слоями моря. Внешний среднемноголетний водообмен Балтийского моря через проливы составляет —930 и +465 км³ в год, т. е. около 2% к объему моря. Как указано выше, величина речного стока в море составляет тоже около 2% объема моря. Среднемноголетний внешний приток морских вод и речной сток в море — величины одного порядка, но влияние их различно. Речной сток участвует прежде всего в формировании верхнего слоя водной толщи, а североморские воды пополняют глубинные слои Балтийского моря.

Количество североморских вод, поступающих за год, в среднем достигает почти 27% от объема глубинных высокосоленных вод, сосредоточенных в четырех основных впадинах Балтийского моря (кроме Ландсортской).

При средних величинах годового водообмена и речного стока соленость в верхних и глубинных слоях Балтийского моря остается в значительной мере постоянной — от 6,7—7,5‰ в верхних слоях до 10,5—

14,5‰ в нижних слоях. При нарушении интенсивности внешнего водообмена и речного стока соленость меняется.

Увеличение солености глубинных вод во впадинах на 2‰, как это наблюдалось в период последнего осолонения, возможно только при увеличении ежегодного притока североморских вод и одновременном уменьшении речного стока. Значительные изменения общей величины речного стока достигали за последнее время 10% от средней его величины, а колебания стока отдельных рек — несколько большей величины.

При расчете времени, необходимого для того чтобы соленость глубинных слоев увеличилась на 2‰, для удобства примем соленость поверхностных вод, вытекающих из Балтийского моря, равной 8‰, а соленость втекающих в него вод — 18‰. Эти величины близки к наблюдавшимся в период последнего осолонения, когда общая соленость центральной части моря возрастала примерно на 1‰, а придонная — на 2‰.

Учитывая, что процесс осолонения является результатом совместного влияния усиленного притока более соленых вод с запада и одновременного ослабления речного стока, для притекающих вод примем коэффициент 1,2 и для вытекающих 0,8. Для простоты расчетов округлим среднесуточную величину стока до 500 км^3 (вместо 450 км^3). Тогда время, потребное на осолонение, n , будет равно:

$$[500 \times 1,2 \times 18 \times 10^6 - (500 \times 1,2 + 500 \times 0,8) \times 8 \times 10^6] n = 13600 \times 10^6,$$

где: 13 600 — объем центральной части моря в км^3 ;

10^6 — содержание солей в 1 км^3 при солености 1‰ в т.

Отсюда на осолонение центральной части на 1‰ потребуется около 5 лет.

Проверка этого результата с точки зрения пропускной способности проливов показала, что при таком водообмене средняя скорость в проливах должна достигать 15 см/сек . Для поправки на неравномерность течения по времени был принят коэффициент 5. Тогда в некоторые периоды скорость течения в проливах должна достигать $70\text{--}75 \text{ см/сек}$. Наблюдения на маяках Лаппегрунд, Дрогден и Гьедсер-Рев свидетельствуют о возможности таких скоростей.

Механизм и причины осолонения будут понятны, если вспомнить, что еще Манегольд отметил усиленный приток североморских вод в Балтику при усилении циклонической деятельности в северной Европе. Г. К. Ижевский в свою очередь показал, что одновременно происходит ослабление материкового стока [1].

ВЫВОДЫ

1. Изменение величины солености в пределах 2‰ может произойти в течение 5 лет при условии изменения интенсивности внешнего водообмена и величины пресного баланса моря в одном направлении.

2. Если принять, что половина воды, поступающей через проливы, смешивается с поверхностными водами Балтийского моря, то можно считать, что полное обновление глубинных вод во впадинах происходит в среднем за 7 лет. Следует, однако, иметь в виду, что действительное полное обновление вод впадин зависит также от степени смешения этих вод с вновь поступающими. При изменении интенсивности внешнего водообмена этот процесс может ускоряться или замедляться.

3. Ежегодно около 15% (300 км^3) глубинных вод выходит в верхний слой моря и в результате вертикального перемешивания в той или иной степени достигает фотического слоя.

4. Проведенные исследования позволяют разобраться в условиях формирования продуктивности Балтийского моря в целях ее правиль-

ного использования и обоснования мероприятий по повышению рыбохозяйственной ценности водоема.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ижевский Г. К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. Пищепромиздат. 1961.
 2. Материалы по режиму рек СССР. Бассейн Балтийского моря. Т. III. Вып. 1—2. Гидрометеониздат. 1941.
 3. Федосов М. В. и Зайцев Г. Н. Водный баланс и химический режим Балтийского моря и его заливов. Труды ВНИРО. Т. XLII. Пищепромиздат. 1960.
 4. Annales Biologique. V. I—VI. Copenhague. 1946—1954.
 5. Knudsen M. Der Baltische Strom und der Salzgehalt im Kattegat und im Westliche Teile der Ostsee, Annalen d. Hydrographie und Maritime Meteorologie. 1901.
 6. Manegold W. Die Wetterabhängigkeit der Oberflächenströmungen in der Plorten der Ostsee, Archiv der Deutsche Seewarte. Bd. 54. № 4. 1936.
-