

**ВОДНЫЙ БАЛАНС И ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ  
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ЕГО ЗАЛИВОВ**

Канд. хим. наук М. В. ФЕДОСОВ  
и канд. географ. наук Г. Н. ЗАЙЦЕВ

Условия формирования и дальнейшего изменения солевого и газового состава вод, обеспеченность их биогенными элементами и интенсивность биохимических процессов в морской воде имеют решающее значение при продуцировании органического вещества в море.

Формирование гидрохимического режима вод, в свою очередь, тесно связано с водным балансом водоема. Водный баланс Балтийского моря, как и других морей, является алгебраической суммой величин речного стока, атмосферных осадков, испарения и водообмена с соседними морями (в данном случае с Северным морем).

Для расчетов мы воспользовались имеющимися литературными данными, которые были подвергнуты нами сравнению и критической проверке.

В связи с тем, что определить точно величину подземного стока невозможно, мы из своих подсчетов эту величину исключили.

Рассмотрим отдельные элементы водного баланса Балтийского моря.

Речной сток в Балтийское море в среднемноголетнем разрезе может быть принят равным  $440 \text{ км}^3$  в год, что составляет около 2% объема моря. В последние годы наблюдается некоторое снижение общей величины речного стока, достигающее 10% от средней многолетней. Примерно  $\frac{3}{4}$  речного стока приходится на северную часть моря с прилегающими к ней заливами и только  $\frac{1}{4}$  — на центральную и южную.

Еще бóльшую неравномерность мы наблюдаем при рассмотрении степени обогащения речными водами отдельных частей моря, о чем свидетельствуют следующие данные (в % к объему этих частей):

Центральная и южная Балтика . . . . .	0,8
Ботнический залив . . . . .	2,7
Финский залив . . . . .	10,7
Рижский залив . . . . .	7,2
Залив Пярну . . . . .	45
Вислинский залив . . . . .	74
Курский залив . . . . .	250

Все море с заливами . . . . . меньше 2

Ввиду такого неравномерного распределения речного стока влияние его на гидрохимический режим в отдельных частях моря различно.

Атмосферные осадки, выпадающие на зеркало Балтийского моря, достигают  $560 \text{ мм/м}^2$ , что составляет около  $210 \text{ км}^3$  в год. Больше всего осадков выпадает осенью, меньше — зимой (в августе до 15% и в феврале — марте 4—5% годовой величины). В противоположность речному стоку в южных районах моря на единицу площади выпадает на 15—20% больше осадков, чем в северных. По отдельным частям Балтийского моря распределение осадков (в  $\text{км}^3$ ) следующее:

Рижский залив . . . . .	7
Финский залив . . . . .	14
Ботнический залив . . . . .	61
Остальная часть моря . . . . .	128
Итого . . . . .	210

Испарение с поверхности Балтийского моря составляет  $495 \text{ мм/м}^2$ , или  $185 \text{ км}^3$  в год.

Таким образом, Балтийское море имеет положительный пресный баланс и, по среднемноголетним данным, в Северное море ежегодно стекает до  $465 \text{ км}^3$  избыточных пресных вод. По отдельным частям моря баланс пресных вод распределяется следующим образом (в  $\text{км}^3$ ) (табл. 1).

Таблица 1

Части моря	Речной сток	Осадки	Испарение	Пресный баланс
Ботнический залив . . . . .	180	61	56	+185
Финский залив . . . . .	122	14	11	+125
Рижский залив . . . . .	30	7	5	+32
Курский залив . . . . .	21	1	1	+21
Вислинский залив . . . . .	2	0,55	0,45	+2
Северная и центральная Балтика .	53	79	74	+58
Южная Балтика . . . . .	32	48	38	+42
Все море . . . . .	440	210	185	+465

Величина пресного баланса отдельных заливов в сочетании со степенью изолированности их от открытого моря оказывает большое влияние на величину и характер водообмена этих заливов с морем, а следовательно, и на их гидрохимический режим. На основе уравнения водосолевого баланса мы определим водный баланс для каждого залива.

**Ботнический залив**

Приход		Расход	
Речной сток . . . . .	$180 \text{ км}^3$	Испарение . . . . .	$56 \text{ км}^3$
Осадки . . . . .	$61 \text{ км}^3$	Сток в море . . . . .	$550 \text{ км}^3$
Приток из моря . . . . .	$365 \text{ км}^3$		
Баланс . . . . .	$606 \text{ км}^3$	Баланс . . . . .	$606 \text{ км}^3$

**Финский залив**

Приход		Расход	
Речной сток . . . . .	$122 \text{ км}^3$	Испарение . . . . .	$11 \text{ км}^3$
Осадки . . . . .	$14 \text{ км}^3$	Сток в море . . . . .	$720 \text{ км}^3$
Приток из моря . . . . .	$595 \text{ км}^3$		
Баланс . . . . .	$731 \text{ км}^3$	Баланс . . . . .	$731 \text{ км}^3$

### Рижский залив

Приход		Расход	
Речной сток . . . . .	30 км <sup>3</sup>	Испарение . . . . .	5 км <sup>3</sup>
Осадки . . . . .	7 км <sup>3</sup>	Сток в море . . . . .	344 км <sup>3</sup>
Приток из моря . . . . .	312 км <sup>3</sup>		
<hr/>		<hr/>	
Баланс . . . . .	349 км <sup>3</sup>	Баланс . . . . .	349 км <sup>3</sup>

### Курский залив

Приход		Расход	
Речной сток . . . . .	21 км <sup>3</sup>	Испарение . . . . .	1 км <sup>3</sup>
Осадки . . . . .	1 км <sup>3</sup>	Сток в море . . . . .	21,5 км <sup>3</sup>
Приток из моря . . . . .	0,5 км <sup>3</sup>		
<hr/>		<hr/>	
Баланс . . . . .	22,5 км <sup>3</sup>	Баланс . . . . .	22,5 км <sup>3</sup>

### Вислинский залив

Приход		Расход	
Речной сток . . . . .	2,1 км <sup>3</sup>	Испарение . . . . .	0,45 км <sup>3</sup>
Осадки . . . . .	0,55 км <sup>3</sup>	Сток в море . . . . .	5,2 км <sup>3</sup>
Приток из моря . . . . .	3,0 км <sup>3</sup>		
<hr/>		<hr/>	
Баланс . . . . .	5,65 км <sup>3</sup>	Баланс . . . . .	5,65 км <sup>3</sup>

Открытая часть моря рельефом дна делится также на несколько частей — впадин. Для нас наиболее интересны следующие: Арконская впадина площадью около 1000 кв. миль с предельной глубиной около 50 м, Борнхольмская — 1800 кв. миль глубиной до 90 м, Гданьская — 1050 кв. миль глубиной 110 м, Готландская, являющаяся после Ландсортской самой глубокой впадиной Балтийского моря, площадью 8400 кв. миль и глубиной до 245 м и Северная впадина, расположенная к северу от о. Готланда глубиной до 70 м. Первые три впадины расположены в южной части моря, Готландская и Северная — соответственно в центральной и северной Балтике.

Южная и центральная части моря сообщаются между собой через узкий желоб. Высокосоленые и более тяжелые североморские воды, втекающие по дну через проливы в Балтийское море, заполняют эти впадины, переливаясь из одной в другую по мере продвижения в глубь моря. Если считать, что соленость вод верхних слоев Балтийского моря, вытекающих из моря через проливы, составляет в среднем 8‰, а вод, втекающих по дну через проливы, — 16‰, то по уравнению водосолевого баланса отток вод из Балтийского моря составит 930 км<sup>3</sup> в год, а приток в него свежих североморских вод — 465 км<sup>3</sup>. Эти воды во время продвижения по впадинам постепенно изменяют свои гидрохимические свойства, в том числе и соленость. Вследствие этого в каждой впадине устанавливается свой особый гидрохимический режим, при изучении которого необходимо знание водного баланса отдельных частей моря и заливов.

Исходя из вышеприведенных цифр, водный баланс северной и центральной и южной частей моря можно представить в следующем виде.

### Северная и центральная части моря

Приход	Расход
Речной сток (непосредственно в море, минуя заливы) . . . . .	Испарение . . . . . 74 км <sup>3</sup>
Осадки . . . . . 79 км <sup>3</sup>	Сток:
	в Ботнический залив . . . . . 365 км <sup>3</sup>
	в Финский залив . . . . . 595 км <sup>3</sup>

Приток:		в Рижский залив . . . . .	312 км <sup>3</sup>
из Ботнического залива . . .	550 км <sup>3</sup>	в южную часть моря . . . . .	760 км <sup>3</sup>
из Финского залива . . . . .	720 км <sup>3</sup>		
из Рижского залива . . . . .	344 км <sup>3</sup>		
из южной части моря . . . . .	360 км <sup>3</sup>		
Баланс . . . . .	2106 км <sup>3</sup>	Баланс . . . . .	2106 км <sup>3</sup>

### Южная часть моря

Приход		Расход	
Речной сток . . . . .	32 км <sup>3</sup>	Испарение . . . . .	38 км <sup>3</sup>
Осадки . . . . .	48 км <sup>3</sup>	Сток:	
Приток:		в Вислинский залив . . . . .	3 км <sup>3</sup>
из Вислинского залива . . . . .	21,5 км <sup>3</sup>	в Курский залив . . . . .	0,5 км <sup>3</sup>
из Курского залива . . . . .	5 км <sup>3</sup>	в северную и центральную	
из северной и централь-		части моря . . . . .	360 км <sup>3</sup>
ной частей моря . . . . .	760 км <sup>3</sup>	в Северное море . . . . .	930 км <sup>3</sup>
из Северного моря . . . . .	465 км <sup>3</sup>		
Баланс . . . . .	1331,5 км <sup>3</sup>	Баланс . . . . .	1331,5 км <sup>3</sup>

Полученные данные по отдельным элементам водного баланса позволяют определить поступление биогенных элементов в различные районы Балтийского моря. Основным источником пополнения биогенными элементами служат реки. По материалам Балтийской экспедиции ВНИРО и литературным источникам, годовой принос биогенных элементов в море и его заливы следующий (табл. 2)

Таблица 2

Заливы и остальная часть моря	Биогенные элементы в т		
	P-PO <sub>4</sub>	N минеральный	органические вещества
Финский . . . . .	850	15 800	1 611 000
Рижский . . . . .	540	8 000	720 000
Курский . . . . .	350	4 900	470 000
Вислинский . . . . .	42	590	98 000
Ботнический . . . . .	580	14 900	3 240 000
Остальная часть моря . . . . .	930	17 000	1 250 000
Все море . . . . .	3292	61 190	7 389 000

Существенным дополнительным источником снабжения водоема азотистыми соединениями являются атмосферные осадки. По Е. С. Бурксеру [7], среднее содержание азота минеральных соединений в выпадающих атмосферных осадках составляет по СССР 550 мг/м<sup>3</sup>. О. А. Алевкин [1] определяет концентрацию азота органических соединений в дождевой воде и в снеге в среднем в 500 мг/м<sup>3</sup>.

С. В. Бруевич [6] принимал среднее содержание минерального азота в атмосферных осадках, выпадающих на поверхность Аральского моря, 400 мг/м<sup>3</sup>.

По данным Геленджикской станции Института океанологии АН СССР, на Черном море содержание азотистых соединений в атмосферных осадках в среднем равно 298 мг/м<sup>3</sup> (от 136 мг/м<sup>3</sup> до 510 мг/м<sup>3</sup>).

По данным Е. Эриксона [19], содержание азотистых соединений в атмосферной воде для района Балтийского моря не превышает 300 мг/л; оно уменьшается в северных районах бассейна (Ботнический залив и др.) и несколько увеличивается в южных. Придерживаясь при расчете этих данных с поправками на широту места, получаем следующие величины приноса азота атмосферными осадками в отдельные части Балтийского моря (т в год)<sup>1</sup>.

Ботнический залив . . . . .	14 000
Финский залив . . . . .	4 200
Рижский залив . . . . .	2 100
Вислинский залив . . . . .	150
Северная и центральная части моря . . . . .	20 000
Южная часть моря . . . . .	14 000
Курский залив . . . . .	300
Всего . . . . .	54 750

Суммарная величина среднего ежегодного поступления биогенных элементов и органического вещества на единицу объема в заливы Балтийского моря показывает, что меньше всего биогенных элементов в Ботническом заливе, больше всего в Курском и Вислинском заливах. В табл. 3 приведены данные по поступлению биогенных элементов и органического вещества в заливы Балтийского моря.

Таблица 3

Заливы	Поступление на 1 м <sup>3</sup> объема (в мг)			Поступление на 1 м <sup>3</sup> слоя активного фотосинтеза (в мг)		
	Р минеральный	N минеральный	органических веществ	Р минеральный	N минеральный	органических веществ
Рижский . . . . .	1,3	24	1130	1,3	25	1700
Финский . . . . .	0,8	18	1430	1,2	27	2180
Курский . . . . .	49,0	712	64400	49,0	712	64400
Вислинский . . . . .	14,0	246	32660	14,0	246	32660
Ботнический . . . . .	0,09	4	790	0,2	10	1790

По степени обогащения биогенными элементами резко выделяются заливы, образовавшиеся в предельтовых участках больших рек, — Курский и Вислинский. Первый из них — почти чисто пресноводный водоем, второй — солоноватоводный.

В результате водообмена между морем и заливами происходит постоянный обмен биогенными элементами. Выше были приведены величины водообмена между отдельными частями Балтики. Эти величины характеризуют обмен водами, полностью перемешивающимися. Основываясь на этих данных и концентрации биогенных элементов в водах, участвующих в обмене, можно дать оценку результатам подобного обмена. Эти данные могут быть приняты и для определения баланса биогенных элементов в Балтийском море. В среднем с реч-

<sup>1</sup> Для уточнения этих величин необходимы специальные наблюдения в зоне Балтийского моря.

Таблица 4

Статьи баланса	В виде минеральных соединений		Органические вещества
	фосфор	азот	
<b>Рижский залив</b>			
Приход			
Поступление с суши (и с атмосферными осадками N) . . . . .	540	10 100	720 000
Поступление с моря . . . . .	780	8 150	1 820 000
<b>Итого . . . . .</b>	<b>1320</b>	<b>18 250</b>	<b>2 540 000</b>
Расход			
Вынос в море . . . . .	1270	14 800	2 340 000
Ежегодный остаток в водоеме в виде органического вещества .	50	3 450	2 000 000
<b>Итого . . . . .</b>	<b>1320</b>	<b>18 250</b>	<b>2 540 000</b>
<b>Курский залив</b>			
Приход			
Поступление с суши (и с атмосферными осадками N) . . . . .	350	5200	470 000
Поступление с моря . . . . .	1	12	3 000
<b>Итого . . . . .</b>	<b>351</b>	<b>5212</b>	<b>473 000</b>
Расход			
Вынос в море . . . . .	226	992	400 000
Ежегодный остаток в водоеме в виде органического вещества .	125	4220	73 000
<b>Итого . . . . .</b>	<b>351</b>	<b>5212</b>	<b>473 000</b>
<b>Вислинский залив</b>			
Приход			
Поступление с суши (и с атмосферными осадками N) . . . . .	42	740	98 000
Поступление с моря . . . . .	6	72	20 000
<b>Итого . . . . .</b>	<b>48</b>	<b>812</b>	<b>118 000</b>
Расход			
Вынос в море . . . . .	26	312	102 000
Ежегодный остаток в водоеме в виде органического вещества .	22	500	16 000
<b>Итого . . . . .</b>	<b>48</b>	<b>812</b>	<b>118 000</b>

ным стоком и с атмосферными осадками в собственно Балтийское море поступает ежегодно 930 т фосфора, 51 000 т азота минеральных соединений и 1250 тыс. т органических веществ. Кроме того, из Северного моря и заливов в Балтику ежегодно поступает около 4 900 т фосфора, 52 600 т азота минеральных соединений и от 5500 до 6700 тыс. т органических веществ.

Таким образом, общее поступление биогенных веществ в Балтийское море составляет 5800 т фосфора, 104 000 т азота и 7950 тыс. т органических веществ. В то же время из Балтики через проливы в Северное море уходит 900 т фосфора, 9000 т азота и 2800 тыс. — 3200 тыс. т органического вещества. В конечном итоге в Балтийское море в целом на 1 м<sup>3</sup> воды ежегодно поступает 0,2 мг фосфора, 3,8 мг азота минеральных соединений и 317 мг органического вещества. При пересчете на 1 м<sup>3</sup> воды верхнего слоя активного фотосинтеза эти величины будут больше и соответственно составят 0,45 мг фосфора, 8,5 мг азота и 710 мг органического вещества. Баланс биогенных элементов в некоторых заливах Балтийского моря (в т) приведен в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что питательными веществами обогащаются больше некоторые заливы Балтики, чем само море. Если учесть, что часть биогенных элементов оседает и остается в самих заливах в виде органического вещества, то на долю открытого моря остается еще меньше.

В связи с тем, что продуктивность планктона в Балтийском море и Рижском заливе различается меньше, чем поступления в них биогенных элементов, приобретает значение внутренний оборот биогенных элементов. В Балтийском море вследствие подъема глубинных вод в верхние слои поступают биогенные элементы, накопленные в глубоководных впадинах. Они обеспечивают дополнительный синтез планктонного органического вещества. Так, например, объем Готландской впадины в пределах изобаты 100 м равен 750 км<sup>3</sup>, что составляет около 15% общего объема слоя фотосинтеза открытой части Балтийского моря. В водах этой впадины содержится более 110 · 10<sup>3</sup> т фосфора и 3 · 10<sup>5</sup> азота минеральных соединений и до 15 · 10<sup>6</sup> т органического вещества.

Гданьская и Борнхольмская впадины, ограниченные соответственно 100 и 70-метровыми изобатами, содержат в сумме около 62 км<sup>3</sup> воды. В них ниже зоны фотосинтеза также содержится большое количество биогенных элементов и органического вещества, запасы которых в несколько раз, а для фосфора фосфатов в десятки раз превышают величину ежегодного поступления их с суши и с атмосферными осадками. Увеличение в некоторые годы скорости подъема глубинных вод способствует увеличению интенсивности фотосинтеза нового органического вещества.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фактический водообмен между отдельными частями моря в несколько раз превышает расчетный. Это происходит потому, что воды, прошедшие через разделяющий пролив и смешавшиеся лишь частично, возвращаются обратно. Соотношения между расчетным и фактическим водообменом зависят от величины живого сечения пролива и от гидрометеорологических условий в районе. Однако рассчитанный водообмен полностью соответствует солевому балансу и позволяет оценить баланс биогенных элементов. В последнем случае в дальнейшем необходимо вносить поправки, связанные с различной интенсивностью биохимических процессов по ту и другую сторону проливов. Однако при суммарной оценке обмена биогенными элементами в виде минеральных и органических соединений различие в интенсивности биохимических процессов не может существенно изменить итоговых величин.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алекин О. А., Основы гидрохимии. Гидрометиздат, 1953.
2. Баранов И. В., Годовой цикл главных гидрохимических ингредиентов воды Невской губы. Ученые записки ЛГУ, изд. ЛГУ, 1949.
3. Берг В. А., О влиянии баланса вод на режим уровня Балтийского моря, IV Гидрологическая конференция балтийских стран, ГГИ — ОНТИ, Ленинград, 1933.
4. Берг В. А., Об опреснении Балтийского моря, IV Гидрологическая конференция балтийских стран, ГГИ — ОНТИ, Ленинград, 1933.
5. Берг В. А. и Спенглер Е. Н., Материалы к определению материкового стока в Балтийском море, IV Гидрологическая конференция балтийских стран, ГГИ — ОНТИ, Ленинград, 1933.
6. Бруевич С. В. и Соловьева Н. В., Баланс биогенных элементов Аральского моря, Гидрохимические материалы, т. XXVI, изд. АН СССР, 1957.
7. Бурксер Е. С., Федорова Н. Е., Зайдис Б. Б., Атмосферные осадки и их роль в миграции химических элементов через атмосферу. Труды Киевской геофизической обсерватории, вып. 1, Гидрометиздат, 1952.
8. Скопинцев Б. А. и Крылова Л. П., Вынос органического вещества крупнейшими реками Советского Союза, ДАН СССР, т. 105, № 4, 1955.
9. Соколовский Д. Л., Материковый сток в Балтийском море, IV Гидрологическая конференция балтийских стран, ГГИ — ОНТИ, Ленинград, 1933.
10. Соколовский Д. Л., О водном балансе Балтийского моря, IV Гидрологическая конференция балтийских стран, ГГИ — ОНТИ, Ленинград, 1933.
11. Соколовский Д. Л., Бассейн Балтийского моря. Материалы по режиму рек СССР, т. III, вып. 1—2, ГИМИЗ, 1933.
12. Федосов М. В., Новые данные по гидрохимии Аральского моря. Материалы по ихтиофауне и режиму вод бассейна Аральского моря, изд. МОИП, 1950.
13. Федосов М. В., Химическая основа кормности Азовского моря и прогноз ее изменения в связи с гидростроительством на реках. Труды ВНИРО, т. XXXI, Пищепромиздат, 1955.
14. Aschan O., Die wasserlöslichen Humestoffe der nordischen Sussgewässer. Zt. für praktische Geologie. 15, 56, 1907. Zt. für praktische Chemie 77, 172, 1908.
15. Blomqvist E., Measures de l'evaporation de la Baltique. Meddel. från hydrographiska Byron 1,3, Helsingfors, 1917.
16. Buch K., Untersuchungen über gelöste Phosphate und Stickstoffverbindungen in den nordbaltischen meeresgebieten. Meerentutkimuslaitoksen julkaisu, N 86, Helsinki, 1932.
17. Wüst G., Niederschlag und Verdunstungsmessungen auf dem Ostsee. VI-eme Conference Hydrologique des Pays de la Mere Baltique, Warsowie, 1938.
18. Witting R., Die Hydrographie der Ostsee. Zeitschrift d. Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, N 10, 1912.
19. Erikson E., Report on an informal conference in atmospheric checuistry held of the Meteorological Institute, University of Stockholm, May 24—26, Tellus, vol. 6, N 3, 1954.
20. Ruppin E., Beitrag zur Hydrographie der Belt und Ostsee. Aus der Labor. für Meeresforschungen. Kiel Hydrogr. Abt. N 10, 1912.
21. Schokalsky I. M., Bilan hydrologique de la Baltique. V-eme conference Hydrologique des Pays de la Mere Baltique, Helsingfors, 1936.