

ОЦЕНКА ПЕРЕНОСА ВОДНЫМИ МАССАМИ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ¹

© 2011 г. А. В. Леонов*, В. М. Пищальник**, В. С. Архипкин***

*Институт океанологии Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский просп., 36

**Сахалинский государственный университет
693008 Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290

*** Московский государственный университет
119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы

Поступила в редакцию 10.11.2009 г.

Изучены условия трансформации биогенных веществ и перераспределения их концентраций в шельфовых водах о. Сахалин. В предварительных работах были представлены результаты для акватории прол. Лаперуза и зал. Анива (Охотское море), а в данной работе — для Татарского прол. (Японское море). Применены три электронных инструмента океанографических исследований: адаптированная версия бергенской океанической модели (для восстановления пространственно-временного распределения температуры, солёности и плотности морской воды, интенсивности циркуляции водных масс и параметров водообмена с соседними акваториями и внутри пролива); ГИС “Сахалинский шельф” (для восстановления годового хода термохалинных параметров на стандартных сетке и горизонтах океанографических станций, а также параметров водной среды); гидроэкологическая CNPSi-модель (для изучения внутригодовой динамики концентраций соединений биогенных элементов, биомасс, биогидрохимической активности и биопродуктивности микроорганизмов — бактерий, фито- и зоопланктона, участвующих в трансформации биогенных веществ и нефтяных углеводородов, а также внутренних потоков биогенных веществ, определяемых активностью микроорганизмов и внешней нагрузкой на морскую экосистему). Представлены и обсуждаются результаты моделирования пространственного переноса биогенных веществ через внешние границы акватории Татарского прол. и внутри него — через границы выделенных трех районов.

Ключевые слова: моделирование состояния морских экосистем, биогенные вещества, горизонтальный и вертикальный перенос биогенных веществ в водах Татарского прол.

Татарский прол. — акватория, в которой смешиваются воды: речные (поступают в пролив с севера из Амурского лимана, с запада — с материка и с востока — с о. Сахалин) и морские (собственно воды Японского моря, которые поступают в пролив с юга). Океаническая численная модель Бергенского университета (БОМ) (трехмерная, нестационарная, нелинейная, учитывает силу вращения Земли, бароклинность, горизонтальные и вертикальные вязкость и диффузию) была применена для изучения циркуляции вод пролива и расчета внутренней (бароклиной) и внешней (баротропной) составляющих течений по данным на сети стандартных океанографических станций — среднемноголетних значений температуры и солёности воды, оцененным с месячной дискретностью с помощью ГИС “Сахалинский шельф” [5]. На твердых границах принималось условие непротекания, на жидких границах — условие

Неймана, отсутствие потоков тепла и солей на поверхности и на границе раздела вода — дно. Ветровое напряжение на поверхности не учитывалось [4].

Оцененные с помощью БОМ ежемесячные расходы воды на внешних границах Татарского прол. и на границах выделенных в проливе районов 1–3 были использованы в CNPSi-модели [1] при расчетах динамики биогенных веществ (БВ), их пространственного перераспределения (в пределах Татарского прол.), обмена БВ через его внешние границы (на севере с Амурским лиманом и на юге с Японским морем) и по вертикали между верхним и нижним слоями [2].

В зависимости от интенсивности поступления БВ из внешних источников, их переноса водными массами из соседних районов и развития процессов трансформации БВ в каждом районе пролива в каждый момент времени формируются свои запасы БВ, они перераспределяются течениями по районам внутри пролива. Привнос из соседних районов восполняет запасы БВ при их расходовании на раз-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 06-05-96016-р_восток_а, 08-05-00095а, 09-05-13510-офи_ц).

витие процессов биотрансформации и создание биомасс микроорганизмами (гетеротрофными бактериями, фито- и зоопланктоном).

Основное внимание в данной работе уделено анализу расчетных значений переносов БВ (через внешние границы пролива и между районами 1–3), их изменчивости в годовом ходе и соизмеримости на разных участках Татарского прол. По своей сути результаты расчетов на CNPSi-модели условий трансформации БВ, их пространственно-временной изменчивости (включая перенос) в целом служат верификацией описания того режима, который определяется динамикой водных масс, вычисленной с помощью БОМ по корректно восстановленным термохалинным полям [3].

УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВ В CNPSi-МОДЕЛИ

Пространственный (горизонтальный и вертикальный) перенос БВ учитывается в данной модели при расчете скоростей изменения их концентраций и обозначен $TR(ijk)$ [1]. Он включает в себя перенос БВ в рассматриваемые акватории из внешних источников – с водами притоков или из прилегающих к изучаемому водоему водных объектов ($TRIN$), при вертикальном водообмене с нижележащим слоем ($TRUP$), перенос БВ из соседних районов ($TRSEC$) и потери БВ при выносе водными массами через внешние границы изучаемой экосистемы ($TROUT$):

$$TR(i, j, k) = f(k)[TR(i, j, k) + TRUP(i, j, k) + TRSEC(i, j, k) + TROUT(i, j, k)].$$

Расчет составляющих переноса проводится в CNPSi-модели по следующим уравнениям:

$$TRIN(k) = QWIN(i, j) CIN(k, i)/V(i, j),$$

$$TRUP(k) = \text{abs}(QWUP(i))(CM(k, I, 3-j) - Y(k))/V(i, j),$$

$$TRSEC(k, i) = (QW(i, j)CM(k, j) - QW(i, j)Y(k))/V(i, j),$$

$$TROUT(k) = -QWOUT(i, j)Y(k)/V(i, j).$$

(здесь i, j, k – счетчики модели для выделенных районов в экосистеме, рассматриваемых слоев и компонентов модели соответственно; $QWIN(i, j)$, $QWOUT(i, j)$ – значения водообмена (расходы воды) на внешних границах экосистемы для расчета соответственно поступления и выноса БВ, км³/мес; $QWUP(i, j)$ – составляющая вертикального переноса БВ, км³/мес; $QW(i, j)$ – расходы воды на границах между отдельными районами внутри экосистемы, км³/мес; $Y(k)$ – мгновенные концентрации БВ в соответствующих районах изучаемого водоема в рассматриваемом слое воды, мг Элемента/л; $CM(k, 3-j)$ – мгновенные концентрации БВ в соответствующих районах в верхнем (или нижнем) слое столба воды, мг Элемента/л, для расчета количеств БВ, участвующих в переносе по вертикали;

$CIN(k, i)$ – концентрации компонентов в водах внешних источников (притоки, смежные внешние акватории), мг элемента/л; $V(i, j)$ – объем вод в рассматриваемых районах и слоях, км³; $f(k)$ – управляющие параметры для описания переноса БВ, безразмерные.

Значения переносов БВ вычисляются на каждом временном шаге при решении уравнений модели, затем они суммируются и сохраняются в специальном файле расчетных параметров. По результатам расчетов значения переносов БВ могут быть представлены для каждого района, слоя, месяца и в целом для всего расчетного года.

Годовые потоки переносимых водными массами БВ могут быть оценены в двух размерностях – на единицу объема вод (мг элемента/(м³ год)), и в целом для всего объема вод изучаемого слоя (т элемента/год). Первое значение вычисляется в процессе расчетов на модели динамики концентраций и потоков БВ по отдельным каналам их трансформации, а второе – по ежемесячным потокам БВ с учетом меняющейся по месяцам толщины (и соответственно объемов воды) изучаемого слоя. Затем значения для каждого месяца суммируются для получения годовых потоков для этого слоя.

Значения потоков БВ на единицу объема вод слоя позволяют сравнивать отдельные районы независимо от их морфометрических показателей, а в объеме вод слоя – характеризуют общие их количества за единицу времени, которые по районам могут существенно меняться из-за разной толщины (и объемов воды) изучаемого слоя в отдельные месяцы. Итоговые значения интенсивности переносов БВ, полученные на основе анализа потоков БВ на единицу объема вод и для всего их объема, могут приводить к абсолютно разным выводам. Именно поэтому при характеристике интенсивности переносов БВ в табл. 1–3 приводятся два значения годовых потоков БВ: цифра над чертой – потоки БВ в разных районах, оцененные на единицу объема вод верхнего слоя, а под чертой – по суммарному переносу БВ в верхнем слое при учете меняющихся в разные месяцы объемов воды в этом слое.

В этой работе рассмотрена расчетная информация только для верхнего слоя прежде всего из-за ограничений на объем статьи, а также потому, что в этом слое сосредоточена основная масса БВ и наиболее активно осуществляется их трансформация и круговорот.

При анализе изменения в течение года переносов БВ в верхнем слое отмечались отдельные месяцы, когда перенос можно считать условно повышенным, выраженным или значимым (при его доле $\geq 10.0\%$ годового переноса). Отметим, что принятое значение для характеристики выраженности процесса ($\geq 10.0\%$) количественно соответствует критерию опасности явления, используемого в гидрометеорологии [6]. Для характеристики интенсивности

Таблица 1. Оцененные для верхнего слоя годовые привносы/выносы БВ и их “чистый” перенос в районы 1–3 при водообмене через внешние границы Татарского прол. (здесь и в табл. 2 и 3 над чертой – потоки БВ на единицу объема вод, под чертой – суммарный перенос БВ с учетом меняющихся в разные месяцы объемов воды верхнего слоя)

Химический показатель	Размерность	Привнос			Вынос			“Чистый” перенос		
		со стоком Амура в район 1	из Японского моря в район		в Амурский лиман из района 1	в Японское море из района		со стоком Амура в район 1	из Японского моря в район	
			2	3		2	3		2	3
PD	$\frac{\text{мг P}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т P}/\text{год}}$	$\frac{0.01424}{18.921}$	$\frac{0.00993}{12.197}$	$\frac{0.00148}{1.852}$	$\frac{0.00015}{0.573}$	$\frac{0.00393}{7.468}$	$\frac{0.00482}{9.703}$	$\frac{0.01409}{18.348}$	$\frac{0.00600}{4.729}$	$\frac{-0.00334}{-7.851}$
DIP	$\frac{\text{мг P}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т P}/\text{год}}$	$\frac{0.01354}{18.540}$	$\frac{0.09178}{143.541}$	$\frac{0.01895}{32.972}$	$\frac{0.00160}{5.865}$	$\frac{0.01545}{29.023}$	$\frac{0.15649}{239.164}$	$\frac{0.01194}{12.675}$	$\frac{0.07634}{114.518}$	$\frac{-0.13753}{-206.192}$
DOP	$\frac{\text{мг P}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т P}/\text{год}}$	$\frac{0.09736}{123.270}$	$\frac{0.11211}{188.780}$	$\frac{0.02157}{36.305}$	$\frac{0.00200}{7.688}$	$\frac{0.01647}{38.226}$	$\frac{0.01395}{18.373}$	$\frac{0.09536}{115.582}$	$\frac{0.09564}{150.534}$	$\frac{0.00762}{17.932}$
ND	$\frac{\text{мг N}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т N}/\text{год}}$	$\frac{0.07134}{94.778}$	$\frac{0.02411}{28.309}$	$\frac{0.00349}{4.057}$	$\frac{0.00089}{3.380}$	$\frac{0.04658}{76.752}$	$\frac{0.06257}{111.793}$	$\frac{0.07046}{91.398}$	$\frac{-0.02246}{-48.443}$	$\frac{-0.05909}{-107.736}$
NH ₄	$\frac{\text{мг N}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т N}/\text{год}}$	$\frac{0.24734}{312.657}$	$\frac{0.16590}{213.044}$	$\frac{0.01582}{23.835}$	$\frac{0.00109}{4.185}$	$\frac{0.00317}{7.706}$	$\frac{0.00159}{2.640}$	$\frac{0.24625}{308.472}$	$\frac{0.16273}{205.338}$	$\frac{0.01423}{21.195}$
NO ₃	$\frac{\text{мг N}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т N}/\text{год}}$	$\frac{0.36277}{0.446}$	$\frac{0.19419}{0.381}$	$\frac{0.04539}{0.093}$	$\frac{0.01062}{0.041}$	$\frac{0.04963}{0.125}$	$\frac{0.02504}{0.034}$	$\frac{0.35215}{0.404}$	$\frac{0.14456}{0.256}$	$\frac{0.02035}{0.058}$
DON	$\frac{\text{мг N}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т N}/\text{год}}$	$\frac{0.49862}{0.662}$	$\frac{0.72248}{1.165}$	$\frac{0.13529}{0.225}$	$\frac{0.01021}{0.036}$	$\frac{0.24325}{0.530}$	$\frac{0.88582}{1.196}$	$\frac{0.48841}{0.626}$	$\frac{0.47923}{0.634}$	$\frac{-0.75053}{-0.971}$
DISi	$\frac{\text{мг Si}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т Si}/\text{год}}$	$\frac{1.78488}{2.206}$	$\frac{4.70447}{5.873}$	$\frac{0.75016}{0.970}$	$\frac{0.03019}{0.112}$	$\frac{0.49514}{0.989}$	$\frac{1.83589}{2.580}$	$\frac{1.75469}{2.094}$	$\frac{4.20933}{4.884}$	$\frac{-1.08573}{-1.611}$
DOC	$\frac{\text{мг C}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т C}/\text{год}}$	$\frac{3.49237}{4.643}$	$\frac{11.35969}{16.590}$	$\frac{1.91271}{2.997}$	$\frac{0.13936}{0.513}$	$\frac{1.62580}{3.366}$	$\frac{6.52909}{8.222}$	$\frac{3.35302}{4.129}$	$\frac{9.73389}{13.223}$	$\frac{-4.61638}{-5.225}$
O ₂	$\frac{\text{мг C}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т O}_2/\text{год}}$	$\frac{4.13543}{4.839}$	$\frac{43.43104}{63.548}$	$\frac{7.33941}{11.526}$	$\frac{0.73435}{2.753}$	$\frac{12.43365}{27.121}$	$\frac{13.91407}{17.082}$	$\frac{3.40108}{2.086}$	$\frac{30.99783}{36.426}$	$\frac{-6.57466}{-5.556}$

двустороннего переноса БВ через внешние границы пролива и границы районов 1–3 внутри пролива оценивался также “чистый” перенос (в виде разности между значениями привноса и выноса БВ через рассматриваемую границу акваторий Татарского прол.).

ПЕРЕНОС БВ ЧЕРЕЗ ВНЕШНИЕ ГРАНИЦЫ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА

Расчетные значения годовых переносов (привносы/выносы) БВ (верхний слой) в районы 1–3 при водообмене показаны в табл. 1. В ней и далее по тексту использована следующая аббревиатура для обозначения БВ: DIP и DOP – соответственно растворенные формы минерального и органического Р; PD и ND – соответственно Р и N в детрите; NH_4 , NO_2 и NO_3 – N в минеральных фракциях соответственно в аммонии, нитритах и нитратах; DON и DOC – соответственно растворенные органические фракции N и C; DISi и O_2 – соответственно растворенные минеральный Si и O_2 . При характеристике переноса БВ первые цифры показывают их значения (или за год, или за месяц, или диапазон участвующих в переносе БВ, или доли от годового значения), оцененные на единицу объема вод, а вторые (в скобках или через косую черту) – на весь объем вод верхнего слоя.

Расчеты показывают, что обмен веществом через внешние границы на севере и на юге существенно различается – и по интенсивности переноса, и по обмену конкретными субстанциями. Следует отметить, что направления водообмена и переноса БВ вовсе не должны совпадать по направлению, так как их концентрации в отдельные периоды года могут существенно различаться, а при оценках “чистого” (результатирующего) переноса БВ за год приводить к несоответствию направленности переносов водных масс и БВ.

Характеристика привноса БВ через внешние границы пролива

Сопоставление значений БВ, переносимых водными массами через внешние границы в районы 1–3, показывает, что их количества существенно различаются (табл. 1)

в район 1 с севера поступает за год больше взвешенных веществ, чем в район 2 с юга – PD в 1.43 (1.55) раза и ND в 2.96 (3.35), а также минеральных компонентов N – NH_4 в 1.49 (1.47) и NO_3 в 1.87 (1.17) раза. Однако поступление таких компонентов как DOP, DON, DISi, DOC, DIP и O_2 в район 1 меньше, и доля для указанных веществ от их поступления в район 2 составляет соответственно 0.87 (0.65), 0.69 (0.57), 0.38 (0.38), 0.31 (0.28), 0.15 (0.13) и 0.10 (0.08);

в район 1 с севера поступает существенно больше БВ, чем в район 3 с юга: в частности, PD – в 9.62

(10.22) раза, DOP – в 4.51 (3.40), ND – в 20.44 (23.36), NH_4 – в 15.64 (13.12), NO_3 – в 7.99 (4.80), DON – в 3.69 (2.94), DISi – в 2.38 (2.27) и DOC – в 1.83 (1.55) раза. Меньше годовые поступления в район 1 только DIP и O_2 – их доля по отношению к поступлениям в район 3 составляет 0.72 (0.56) и 0.56 (0.42) соответственно;

в район 2 выше, чем в район 3, привнос БВ из Японского моря: PD в 6.71 (6.59) раза, DIP – в 4.84 (4.35), DOP – в 5.20 (5.20), ND – в 6.91 (6.98), NH_4 – в 10.49 (8.94), NO_3 – в 4.28 (4.10), DON – в 5.34 (5.18), DISi – в 6.27 (6.06), DOC – в 5.94 (5.54) и O_2 – в 5.92 (5.51) раза (табл. 1).

Район 1. Годовое поступление БВ в район 1 со стоком р. Амур по возрастанию значений показано в ряду $\text{DIP} < \text{PD} < \text{ND} < \text{DOP} < \text{NH}_4 < \text{NO}_3 < \text{DON} < \text{DISi} < \text{DOC} < \text{O}_2$ (табл. 1).

Поступление БВ в район 1 с водами р. Амур неравномерно в течение года. На единицу объема вод наибольшее поступление БВ приходится на май–август: для DIP это составляет 17.1–23.9% годового поступления, для DOP – 17.3–28.2, для PD и DOC – по 16.9–27.5, для NH_4 – 16.6–28.3, для DON и ND – по 16.9–27.5, для DISi – 12.7–29.1, для O_2 – 19.4–25.0%. Для NO_3 из-за активизации развития планктона в конце весны–начале лета поступление остается наибольшим не в течение всего указанного выше периода (май–август), а только в мае и июне (соответственно 45.3 и 26.1%).

Наибольшее поступление БВ в район 1 с водами р. Амур, рассчитываемое на объем вод верхнего слоя, зависит в целом от его толщины в отдельные месяцы и развития в нем процессов биотрансформации БВ. На февраль приходится наибольший вынос DIP (15.1%), на март – NH_4 (22.4) и NO_3 (16.3), на май–июнь – NO_3 (17.8–16.4), на июнь–август – DIP (13.3–20.2), NH_4 (13.6–15.2), DISi (11.9–18.2), на июль–август – DOP (18.5–25.8), PD и DOC (по 17.3–24.0), DON и ND (по 17.2–24.0), O_2 (20.6–24.7)%.

Район 2. Для этого района ряд по возрастанию годового привноса БВ водными массами из Японского моря имеет вид: $\text{PD} < \text{ND} < \text{DIP} < \text{DOP} < \text{NH}_4 < \text{NO}_3 < \text{DON} < \text{DISi} < \text{DOC} < \text{O}_2$ (табл. 1).

Ежемесячные поступления БВ на единицу объема вод за счет переноса водными массами в район 2 из Японского моря наибольшие в январе для NO_3 (11.4%), июле – для DOP (13.1), июле–сентябре – для DON (12.3–14.9) и DISi (16.4–22.2), июле–октябре – для PD (15.1–21.1), ND (15.6–21.7), DOC (13.2–18.4), O_2 (13.3–18.2), августе – для NO_3 (10.8), августе–сентябре – для NH_4 (31.0–38.6), августе–октябре – для DIP (11.4–14.8), сентябре–октябре – для DOP (14.6–15.3) и декабре – для NO_3 (11.0%).

Наибольшие поступления БВ в район 2 из Японского моря, вычисляемые на объем вод верхнего слоя, приходятся на разные месяцы. На январь приходятся повышенные поступления растворенных

минеральных и органических форм P и N – DIP, DOP, NO₃ и DON (соответственно 13.2, 11.5, 14.7 и 10.1% годового их переноса). Также повышен в июле–сентябре перенос через данную границу DISi (10.0–20.0%), в августе–сентябре – NH₄ (18.4–38.2), в августе–октябре – PD (13.1–19.3) и ND (14.1–20.8%), в сентябре – DON (11.2), в сентябре–декабре – DOC и O₂ (по 11.5–15.0), DOP (11.0–17.5), в ноябре – DON (18.2) и DISi (10.6), в ноябре–декабре – DIP (12.9–12.1) и NO₃ (18.6–21.3%).

Район 3. Для района 3 ряд по возрастанию приноса БВ водными массами за год из Японского моря имеет вид: PD < ND < NH₄ < DIP < DOP < NO₃ < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 1).

В район 3 из Японского моря на единицу объема вод наибольшие переносы водными массами отмечены в январе–марте для NO₃ (10.6–24.3%) и в феврале–марте для DON (13.7–14.4), DOC (11.6–14.4) и O₂ (11.6–14.5%). В июне повышен перенос NO₃ (12.0%), в июне–июле – DIP, DOP, PD, DON, ND, DISi, DOC и O₂ (соответственно 17.2–10.1, 18.5–13.9, 24.4–21.3, 18.7–16.3, 25.9–22.6, 24.1–20.9, 18.8–16.4, 19.3–16.2%), и в июне–августе – NH₄ (12.5–19.9%).

Вычисленные для объема вод верхнего слоя переносы БВ в район 3 из Японского моря показали, что в январе–апреле происходит наибольшее поступление DIP (12.2–27.4%) и DOP (10.0–26.8), в январе–марте – NH₄, NO₃, DON, DOC и O₂ (соответственно 10.1–18.7, 13.0–30.0, 11.3–21.8, 10.1–23.2 и 10.1–23.2%), в феврале–апреле – DISi (14.3–17.9), в феврале–марте – PD (15.1–18.8) и ND (13.7–17.2%), в июне–июле – ND (11.2–14.6), в июле – PD (12.9) и DISi (12.3), в августе – NH₄ (10.0%).

Таким образом, за год в районы 1 и 2 поступает через внешние границы пролива больше БВ, чем в район 3. Это достаточно хорошо увязывается с общим характером циркуляции водных масс: с проникновением вод из Амурского лимана на севере пролива, а также с доминирующим переносом вод из Японского моря в пролив на юго-западе и их обратным выносом из пролива в Японское море на юго-востоке пролива [4].

Характеристика выноса БВ через внешние границы пролива

Оцененный вынос PD из района 2 выше, чем из района 1, в 26.2 (16.0) раза, DIP – в 0.9 (5.0), DOP – в 8.2 (5.0), ND – в 52.3 (22.7), NH₄ – в 2.9 (1.3), NO₃ – в 4.7 (3.1), DON – в 23.8 (14.7), DISi – в 16.4 (8.8), DOC – в 11.7 (6.6) и O₂ – в 16.9 (9.9) раза (табл. 1).

Из района 3 выше, чем из района 2, вынос водными массами БВ в Японское море – PD в 1.2 (1.3) раза, DIP – в 10.1 (8.2), ND – в 1.3 (1.5), DON – в 3.6 (2.3), DISi – в 3.7 (2.6), DOC – в 4.0 (2.4), O₂ – в 1.1 (0.6) раза. Лишь годовой вынос из Татарского прол.

в Японское море DOP, NH₄ и NO₃ выше из района 2 (соответственно в 1.2 (2.1), 2.0 (2.9) и 2.0 (3.7) раза), чем из района 3 (табл. 1).

Таким образом, в сравнении с районом 1 годовой вынос БВ из района 2, рассчитываемый на единицу объема вод верхнего слоя, превышен в 2.91–52.34 раза, а в пересчете на весь объем вод этого слоя – в 1.84–22.71 раза. В обоих случаях наименьшее отличие – в выносе NH₄, а наибольшее – ND (табл. 1).

Подобное сравнение районов 3 и 1 показывает, что на единицу объема вод верхнего слоя диапазоны превышения выноса БВ из района 3 составляют 1.46–97.81 раза (наименьшее для NH₄, а наибольшее для DIP), а на весь объем слоя – 2.39–40.78 раза (наименьшее для DOP, а наибольшее для DIP). Вынос минеральных фракций N (NH₄ и NO₃), рассчитываемый на весь объем вод верхнего слоя, выше в районе 1, чем в районе 3. Отличия между районами 3 и 2 в значениях выноса БВ через внешние границы существенно меньшие (исключение – перенос DIP, который на единицу объема вод в 10.15 и на весь объем верхнего слоя в 8.24 раз выше в районе 3, чем в районе 2) (табл. 1).

Район 1. Возрастание количеств БВ, выносимых водными массами из района 1 в Амурский лиман, показано в следующем ряду: PD < ND < NH₄ < DIP < DOP < DON < NO₃ < DISi < DOC < O₂ (табл. 1).

Вынос БВ из района 1 в Амурский лиман водными массами происходит преимущественно в период январь–март, и доля выноса в эти месяцы в годовом составляет для DIP (21.0–35.5)/(22.1–37.3)%, DOP – (21.7–40.1)/(21.8–40.4), PD – (18.4–41.4)/(18.8–42.4), NH₄ – (21.4–40.7)/(21.4–40.8), NO₃ – (21.5–40.0)/(21.5–40.0), DON – (17.2–31.4)/(18.8–34.3), ND – (27.3–34.2)/(27.6–34.6), DISi – (19.3–37.1)/(20.1–38.7), DOC – (20.3–35.7)/(21.3–37.4) и O₂ – (21.1–37.0)/(21.7–38.1)%.

В июне–августе вынос через указанную границу пролива отсутствует, а в последующие месяцы его доля для большинства БВ от годового выноса или невелика (<5%), или вовсе не выражена.

Район 2. Расположение БВ с возрастанием их годового выноса водными массами из района 2 в Японское море показано в ряду: NH₄ < PD < DIP < DOP < ND < NO₃ < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 1).

Из района 2 Татарского прол. вынос БВ водными массами в Японское море происходит в отдельные месяцы в периоды февраль–май, а также октябрь–декабрь. В частности, в феврале–апреле наибольшая доля в годовом выносе на единицу объема вод отмечается для DOP (11.5–43.0%), NH₄ (19.0–46.5) и NO₃ (17.8–43.2), в марте–апреле – для DIP (18.8–24.5), DON (10.1–20.2), DISi (12.9–25.3), DOC (18.8–26.2) и O₂ (12.4–22.2), в апреле–мае – для PD (27.4–27.7) и ND (33.2–41.4), в октябре – для DIP (20.9) и DOC (29.1), в октябре–ноябре – для DON

(14.8–25.0), DISi (9.0–17.5) и O₂ (13.1–20.7), в ноябре–декабре – для PD (8.2–9.2%).

В пересчете на объем вод верхнего слоя соответствующие повышенные доли выноса БВ отмечаются в феврале–апреле для DOP (12.6–47.0%), NH₄ (19.8–48.5) и NO₃ (17.9–43.5), в марте–апреле – для DIP (25.5–33.2), DON (11.7–23.5), DISi (16.3–32.2), DOC (23.1–32.2) и O₂ (14.4–25.9), в апреле–мае – для PD (10.7–36.6) и ND (13.6–63.9), в октябре – для DIP (14.4) и DOC (12.3), в октябре–ноябре – для DON (14.5–25.9), DISi (11.1–16.8) и O₂ (12.1–22.9), в ноябре–декабре – для PD (13.2–18.4%).

Район 3. Возрастание годового выноса БВ водными массами из района 3 в Японское море показано в ряду: NH₄ < PD < DOP < NO₃ < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 1).

Из района 3 Татарского прол. для большинства БВ вынос водными массами в Японское море происходит преимущественно во вторую половину года. Так, на единицу объема вод в июне–октябре наибольший вынос отмечен для O₂ (11.8–18.0%), в июле–октябре – для DON (11.1–23.4) и DOC (11.6–23.6), в августе–октябре – для DOP (11.3–32.3), NH₄ (10.6–22.8), NO₃ (15.2–44.3) и DISi (18.7–24.3), в августе–ноябре – для DIP (11.6–24.9), в сентябре–декабре – для PD (12.4–24.0%). Только для ND повышенный вынос из района 3 в Японское море имеет место и в первую, и во вторую половину года – в апреле–июне и ноябре–декабре (соответственно 12.9–24.0 и 12.2–13.1%).

Значения потоков БВ на весь объем вод верхнего слоя также показывают, что во вторую половину года повышен вынос водными массами БВ из района 3 в Японское море. Однако доля выноса БВ в годовом в разные месяцы отличается от выше приведенных оценок. Так, в апреле повышен вынос ND (18.2%), в августе–сентябре – NH₄ (10.0–17.2), в августе–ноябре – DOP, DON, DOC, NO₃ и O₂ (соответственно 10.8–38.1, 11.9–25.1, 13.4–23.7, 13.6–40.7 и 11.2–19.1), в августе–декабре – DISi (10.0–25.0), в сентябре–декабре – DIP (14.3–29.7), в октябре–декабре – PD (15.0–36.2), в ноябре–декабре – ND (25.9–27.7) и NH₄ (21.1–21.3%).

“Чистый” перенос БВ через внешние границы районов 1–3 Татарского прол.

В табл. 1 приведены также суммарные годовые значения “чистого” переноса БВ через внешние границы районов 1–3. Эти значения могут быть положительными и отрицательными, что показывает соответствующее превышение одной из составляющих переноса отдельных БВ (привноса или выноса) над другой. Следует отметить, что годовая величина “чистого” переноса достаточно условна, так как для отдельных месяцев превышения указанных составляющих переноса в целом невелики, а важны они для характеристики сбалансированности процес-

сов, оцениваемых для всего года, поскольку эти потоки регулируют содержание БВ в районах 1–3.

Превышение привноса БВ над их выносом через внешние границы Татарского прол. для районов 1 и 2 лишь немного снижает значения “чистого” переноса БВ через указанные границы Татарского прол. (табл. 1), в целом сохраняя те тенденции, которые уже выявлены при анализе особенностей привноса БВ водными массами из соседних внешних районов. Однако для района 3 знак “чистого” переноса некоторых БВ меняется на противоположный из-за их больших потерь за счет выноса из района 3 через внешнюю границу с Японским морем. Потери при большем выносе для района 3 отмечены для PD, DIP, ND, DON, DISi, DOC и O₂, у которых значения годового “чистого” переноса отрицательны (табл. 1).

Для указанной внешней границы меньший вынос за год в сравнении с привносом и, соответственно, положительные значения годового “чистого” переноса отмечены для DOP, NH₄ и NO₃ (табл. 1). При этом неравноценность процессов двустороннего переноса БВ водными массами через указанную внешнюю границу объясняет, в какие периоды (или месяцы) года формируется положительный (или отрицательный) годовой “чистый” перенос отдельных БВ. Например, привнос в район 3 из Японского моря NH₄ во все месяцы более значим, чем его вынос; привнос DOP и NO₃ существенен только в первую половину года, а во вторую, когда в водной среде активны процессы продукции органических фракций и регенерации минеральных веществ, их вынос выше привноса. Это и объясняет положительные значения годового “чистого” переноса DOP и NO₃.

Отметим, что выносы в Японское море из района 3 большей части БВ в отдельные месяцы второй половины года были более существенны, чем их привнос в первую половину года, а вынос взвешенных фракций (ND и PD) практически во все месяцы превалировал над их обратным привносом. Поэтому в этом случае имеет место отрицательный годовой “чистый” перенос БВ (табл. 1).

ПЕРЕНОС БВ ЧЕРЕЗ ГРАНИЦЫ РАЙОНОВ 1–3 В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ

Расчетные их значения показаны в табл. 2 в виде суммарного переноса из соседних районов (для района 1 – суммарно из районов 2 и 3, для района 2 – из районов 1 и 3, для района 3 – из районов 1 и 2).

Характеристика привноса БВ через границы 1–3 в Татарском проливе

Наибольшее поступление БВ за счет суммарного их переноса из соседних районов – в районе 3, наименьшее – в районе 1. Сопоставление количеств БВ, переносимых водными массами через границы районов 1–3 внутри пролива, показывает, что

Таблица 2. Оцененные значения годового переноса БВ водными массами через границы районов 1–3 в Татарском прол.

Химический показатель	Размерность	Привнос из соседних районов в район			Вынос в соседние районы из района			“Чистый” перенос через границы в проливе в районе		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
PD	$\frac{\text{мг P}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>0.00051</u>	<u>0.02593</u>	<u>2.61707</u>	<u>0.00477</u>	<u>2.59771</u>	<u>0.02157</u>	<u>-0.00426</u>	<u>-2.57178</u>	<u>2.59550</u>
	т P/год	0.874	70.163	1330.869	15.285	1330.363	57.325	-14.411	-1261.200	1273.544
DIP	$\frac{\text{мг P}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>0.02642</u>	<u>0.23513</u>	<u>11.73157</u>	<u>0.01968</u>	<u>11.63627</u>	<u>0.25130</u>	<u>0.00674</u>	<u>-11.40114</u>	<u>11.48027</u>
	т P/год	41.634	626.570	6012.648	54.208	6001.286	626.070	-12.574	-5374.716	5386.578
DOP	$\frac{\text{мг P}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>0.00331</u>	<u>0.02936</u>	<u>2.16474</u>	<u>0.01650</u>	<u>2.14296</u>	<u>0.01547</u>	<u>-0.01319</u>	<u>-2.11360</u>	<u>2.14927</u>
	т P/год	4.579	68.259	1148.433	58.484	1132.718	30.987	-53.905	-1064.459	1117.446
ND	$\frac{\text{мг N}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>0.00857</u>	<u>0.67402</u>	<u>61.18015</u>	<u>0.02590</u>	<u>60.72115</u>	<u>0.65664</u>	<u>-0.01733</u>	<u>-60.04713</u>	<u>60.52351</u>
	т N/год	0.026	1.735	31.171	0.051	31.176	1.718	-0.025	-29.441	29.453
NH ₄	$\frac{\text{мг N}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>0.00030</u>	<u>0.01108</u>	<u>0.45241</u>	<u>0.00834</u>	<u>0.44533</u>	<u>0.00269</u>	<u>-0.00804</u>	<u>-0.43425</u>	<u>0.44972</u>
	т N/год	0.499	27.495	243.881	30.203	234.602	7.200	-29.704	-207.107	236.681
NO ₃	$\frac{\text{мг N}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>0.00505</u>	<u>0.10790</u>	<u>0.20975</u>	<u>0.08034</u>	<u>0.17265</u>	<u>0.02935</u>	<u>-0.07529</u>	<u>-0.06475</u>	<u>0.18040</u>
	тыс. т N/год	7.526	243.337	394.614	206.511	306.294	52.812	-198.985	-62.957	341.802
DON	$\frac{\text{мг N}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>0.17333</u>	<u>0.78166</u>	<u>115.964</u>	<u>0.20511</u>	<u>115.039</u>	<u>0.79406</u>	<u>-0.03178</u>	<u>-114.2573</u>	<u>115.16994</u>
	тыс. т N/год	0.240	2.043	59.515	0.602	59.455	1.744	-0.362	-57.412	57.771
DISi	$\frac{\text{мг Si}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>0.33933</u>	<u>2.40926</u>	<u>419.423</u>	<u>0.41005</u>	<u>416.150</u>	<u>2.41198</u>	<u>-0.07072</u>	<u>-413.7407</u>	<u>417.01102</u>
	тыс. т Si/год	0.509	6.287	214.472	1.168	214.307	5.841	-0.659	-208.020	208.631
DOC	$\frac{\text{мг C}}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>1.33777</u>	<u>8.18620</u>	<u>804.598</u>	<u>1.82988</u>	<u>797.922</u>	<u>8.03309</u>	<u>-0.49211</u>	<u>-789.7358</u>	<u>796.56491</u>
	тыс. т C/год	1.887	20.291	413.840	5.448	412.818	17.774	-3.561	-392.527	396.066
O ₂	$\frac{\text{мг O}_2}{(\text{м}^3 \text{ год})}$	<u>2.99173</u>	<u>35.3947</u>	<u>6731.913</u>	<u>9.51006</u>	<u>6677.849</u>	<u>28.4605</u>	<u>-6.51833</u>	<u>-6642.454</u>	<u>6703.4525</u>
	тыс. т O ₂ /год	4.509	83.838	3482.192	28.893	3476.882	65.081	-24.384	-3393.044	417.111

по отношению к району 2 количество БВ, переносимых водными массами в район 3, выше: по PD в 100.9 (19.0) раза, DIP – в 49.9 (9.6), DOP – в 72.3 (16.8), ND – в 90.8 (18.0), NH_4 – в 40.8 (8.9), NO_3 – в 2.0 (1.6), DON – в 148.4 (29.1), DISi – в 174.1 (34.1), DOC – в 98.2 (41.5) и O_2 – в 190.2 (41.5) раза;

в сравнении с районом 1 поступление БВ с водными массами выше в районе 2: по PD в 50.8 (80.3) раза, DIP – в 8.9 (15.1), DOP – в 8.9 (14.9), ND – в 78.7 (66.7), NH_4 – в 36.9 (55.1), NO_3 – в 21.4 (32.3), DON – в 4.5 (8.5), DISi – в 7.1 (12.4), DOC – в 6.1 (10.8) и O_2 – в 11.8 (18.6) раза.

Район 1. Для района 1 суммарный годовой привнос БВ водными массами из районов 2 и 3 представлен по их возрастанию в ряду $\text{NH}_4 < \text{PD} < \text{DOP} < \text{NO}_3 < \text{ND} < \text{DIP} < \text{DON} < \text{DISi} < \text{DOC} < \text{O}_2$ (табл. 2).

Из-за отсутствия водообмена в верхнем слое в районе 1 в январе–марте нет поступления БВ из районов 2 и 3. В апреле–декабре водообмен обеспечивает привнос БВ сюда из районов 2 и 3 и его значения каждый месяц сильно меняются. В апреле наибольший привнос в район 1 на единицу объема водных масс происходит по PD, ND и NH_4 и O_2 (соответственно 15.5, 62.9, 10.1 и 10.8% годового привноса), в июне–сентябре – DIP (16.3–46.7) и PD (12.1–29.2), в июле–сентябре – NH_4 (10.1–54.1), DON (17.3–49.9), DISi (18.4–47.3), DOC (16.7–49.6) и O_2 (12.4–45.9), в августе и сентябре – DOP (соответственно 65.6 и 24.7) и NO_3 (63.3 и 31.9%).

Пересчет на объем вод верхнего слоя существенно не меняет отмеченную выше картину привноса БВ из районов 2 и 3 в район 1 по месяцам: в апреле повышен привнос PD (34.9%), ND (78.5), NH_4 (23.2), DISi (11.2), DOC (11.1) и O_2 (27.6), в июле–сентябре – DIP (12.0–34.3), PD (14.2–21.6), DON (18.3–41.7), DISi (16.7–49.6), DOC (18.0–40.7) и O_2 (15.9–35.3), а в августе и сентябре – DOP (54.9 и 34.5), NH_4 (37.1 и 20.4) и NO_3 (49.2 и 41.4%).

Район 2. Для района 2 суммарный привнос БВ водными массами за год из районов 1 и 3 представлен по их возрастанию в ряду $\text{NH}_4 < \text{PD} < \text{DOP} < \text{NO}_3 < \text{DIP} < \text{ND} < \text{DON} < \text{DISi} < \text{DOC} < \text{O}_2$ (табл. 2).

На единицу объема вод привнос БВ в район 2 из районов 1 и 3 повышен преимущественно в начале и конце года. Так, в январе–марте доля годового привноса DOP составляет 12.8–30.2%, в январе–апреле NH_4 и NO_3 – соответственно 11.2–29.6 и 10.3–23.8, в феврале и марте PD – 30.7 и 30.6, в феврале–апреле ND, DISi, DOC и O_2 – соответственно 20.4–35.8, 11.4–19.0, 11.6–20.8 и 18.9–31.7, в марте и апреле DIP – 10.5 и 13.6, DON – 17.5 и 17.0%. В сентябре доля привноса DOP в район 2 составляет 10.3%, в октябре–декабре DIP – (15.2–21.7), DISi – (10.9–14.5), в ноябре и декабре DON – (17.5 и 15.0), DOC – (12.8 и 10.4), а в декабре PD – 15.6%.

Пересчет значений привноса БВ на объем вод верхнего слоя практически мало меняет особенности их транспорта водными массами в район 2 (из районов 1 и 3). Так, в январе–марте повышена доля привноса DOP (13.5–31.8%), в январе–апреле – NH_4 (11.5–30.3) и NO_3 (11.6–26.8), в феврале и марте – PD (28.8 и 28.7), в феврале–апреле – ND (20.1–35.3), DISi (11.1–19.4), DOC (11.9–21.3), O_2 (20.3–34.0), в марте и апреле – DIP (10.0 и 12.9) и DON (17.0 и 16.5), в ноябре и декабре – DIP (28.2 и 31.0), DOP (11.1 и 12.1), PD (11.1 и 21.9), DON (25.5 и 21.9), DISi (20.9 и 21.1) и DOC (19.6 и 16.0), а в декабре – NH_4 (12.3%).

Район 3. Для района 3 привнос БВ водными массами за год суммарно из районов 1 и 2 представлен по их возрастанию в ряду $\text{NO}_3 < \text{NH}_4 < \text{DOP} < \text{PD} < \text{DIP} < \text{ND} < \text{DON} < \text{DISi} < \text{DOC} < \text{O}_2$. Привнос водными массами в район 3 минеральных фракций N наименьший и на единицу объема вод, и на весь объем вод верхнего слоя (табл. 2).

Следует также отметить, что распределение привноса БВ в район 3 из районов 1 и 2 в разные месяцы неравнозначно. В октябре–декабре такой привнос вообще отсутствует, а основной привнос БВ по этому каналу осуществляется в июне. На единицу объема вод на этот месяц приходится 97.1% годового привноса DIP, доля такового для DOP составляет 97.5, для PD и DON – по 98.4, для NH_4 , ND, DISi, DOC и O_2 – 96.8, 97.9, 97.3, 96.6 и 96.5% соответственно. Вычисленные на весь объем вод верхнего слоя значения показывают, что доля годового привноса DIP в июне составляет 95.4%, DOP – 92.6, PD – 97.5, NH_4 – 90.5, DON – 95.1, ND – 96.8, DISi – 95.9, DOC – 94.7 и O_2 – 94.0%.

Несколько отличается распределение по месяцам привноса NO_3 водными массами в район 3 из районов 1 и 2: в январе–апреле оно составляло 13.4–21.2% (на единицу объема вод) и 17.9–28.4% (на весь объем вод), а в июне – 30.1 (8.1)% годового привноса в район 3.

Характеристика выноса БВ через границы 1–3 в Татарском проливе

Вынос БВ водными массами наибольший в районе 2 и наименьший в районе 1. По отношению к району 1 из района 2 вынос водными массами выше: PD в 544.4 (87.0) раз, DIP – в 591.3 (111.7), DOP – в 129.9 (19.4), ND – в 2344.5 (611.3), NH_4 – в 53.4 (7.8), NO_3 – в 2.2 (1.5), DON – в 560.9 (98.8), DISi – в 1014.8 (183.5), DOC – в 436.1 (75.8), O_2 – в 702.2 (120.3) раз.

По отношению к району 3 вынос водными массами из района 2 выше: PD в 120.4 (23.2) раз, DIP – в 46.3 (9.6), DOP – в 138.5 (36.6), ND – в 92.5 (18.2), NH_4 – в 165.6 (32.6), NO_3 – в 5.9 (5.8), DON – в 144.9 (34.0), DISi – в 172.5 (36.7), DOC – в 99.3 (23.2), O_2 – в 234.6 (53.4) раз.

В сравнении с районом 1 из района 3 вынос водными массами выше: PD в 4.5 (3.8) раз, DIP – в 12.8 (11.6), ND – в 25.4 (33.7), DON – в 3.9 (2.9), DISi – в 5.9 (5.0), DOC – в 4.4 (3.3), O₂ – в 3.0 (2.3) раз. Однако вынос за год DOP, NH₄ и NO₃ выше из района 1 соответственно в 1.1 (1.9), 3.1 (4.2) и 2.7 (3.9) раз в сравнении с районом 3.

Район 1. Для района 1 суммарный годовой вынос БВ водными массами в соседние районы 2 и 3 по возрастанию их потерь показан в ряду PD < NH₄ < NO₃ < DOP < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 2).

Наибольшие значения выноса БВ из района 1 в соседние районы отмечены в основном в начале года и в конце осени–начале зимы. Повышенные значения выноса БВ, вычисленные на единицу объема вод и на весь объем вод верхнего слоя, могут не совпадать. В январе доминирует вынос PD – 11.2 (13.5)%, в январе и феврале – ND – 10.0 и 10.2 (19.8 и 19.0), в январе–марте – DIP – 11.6–20.1 (16.2–28.2), DOP – 19.6–33.1 (21.3–38.0), NH₄ – 21.3–37.9 (22.7–40.3), NO₃ – 21.7–35.5 (23.5–38.4), DISi – 10.9–18.0 (14.8–24.4), DOC – 10.9–18.7 (14.1–24.2) и O₂ – 11.5–19.8 (14.6–25.2), в феврале – DON – 10.6 (13.9), в мае – PD – 13.2 (2.0), ND – 39.3 (9.7) и O₂ – 10.1 (1.6), в июле – DIP – 12.0 (5.0), DON – 10.7 (4.2), ND – 16.3 (9.7) и DISi – 11.4 (4.6), в сентябре – DOC – 10.5 (6.5), в сентябре и октябре – DIP – 13.0 (9.1) и 10.4 (7.3), в сентябре–декабре – DON – 12.3–17.5 (8.1–23.1)%. В ноябре и декабре отмечен повышенный вынос PD – 13.1 (15.7) и 43.0 (51.8)%, DON – 15.9 (20.9) и 17.6 (23.1), ND – 5.4 (10.6) и 10.3 (20.4), DOC – 8.2 (10.6) и 8.1 (10.5) и O₂ – 8.7 (11.1) и 10.5 (13.4), в декабре – DISi – 7.7 (10.5)%.

Район 2. Для района 2 годовой вынос БВ водными массами суммарно в соседние районы 1 и 3 по возрастанию их значений показан в ряду NH₄ < NO₃ < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 2).

Следует отметить, что значения выноса БВ водными массами из района 2 (в районы 1 и 3) практически совпадают с величинами привноса БВ в район 3 (из районов 1 и 2). В октябре–декабре вынос из района 2 отсутствует, а наибольший перенос БВ имеет место в июне: на этот месяц приходится 97.1 (95.6)% годового выноса DIP. Доля такового для DOP составляет 97.8 (94.0)%, PD – 98.4 (97.6), DON – 96.8 (95.7), NH₄ – 97.6 (94.1), ND – 97.9 (96.8), DISi – 97.4 (96.0), DOC – 96.7 (94.9), O₂ – 96.5 (94.2)%.

В отличие от других БВ распределение по месяцам выноса NO₃ водными массами из района 2 (в районы 1 и 3) следующее: в январе доля годового выноса NO₃ составляет 17.3 (27.8)%, в марте и апреле – 20.8 и 16.1 (29.8 и 23.0) и в июне – 36.2 (10.4)%.

Район 3. Для района 3 вынос БВ водными массами за год суммарно в соседние районы 1 и 2 представлен по их возрастанию в ряду NH₄ < DOP < PD <

< NO₃ < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 2).

Вынос БВ из района 3 в районы 1 и 2 повышен преимущественно в феврале–апреле и в конце года. Так, в феврале повышена доля годового выноса DOP (23.8%/29.9%) и NH₄ (16.2/15.3), в феврале и марте – PD (35.6/33.7 и 36.5/34.6), в феврале–апреле – ND ((20.8–36.9)/(20.0–35.5)) и O₂ ((17.7–35.3)/(19.5–38.9)), в марте и апреле – DISi – (17.9/18.6 и 18.2/19.0), DON – (15.5/17.7 и 17.0/19.5) и DOC – (17.1/19.5 и 20.9/23.9), в апреле – DIP (12.8%/13.0%). В августе повышена доля выноса из района 3 DON – (16.6%/5.7%) и DOC – (12.6/4.3), в августе и сентябре – DOP (20.3/7.7 и 24.4/15.3), в августе–декабре – NO₃ ((10.8–39.9)/(8.6–30.8)), в сентябре – NO₃ (39.9/27.9) и DOP (24.4/15.3), в октябре – DIP (13.5/6.8), в ноябре – DOC (11.3%/19.3%). В ноябре и декабре повышен вынос из района 3: DIP (18.7/28.3 и 20.7/31.4), NH₄ (12.8/18.1 и 29.7/41.9), DON (13.2/22.8 и 10.0/18.0), DISi (13.4/20.9 и 13.5/21.1), DOP (11.1/20.9 и 8.5/16.1), NO₃ (10.8/22.7 и 14.6/30.8), а также DOC (11.3/19.3 и 8.9%/15.3%).

“Чистый” перенос БВ через границы районов 1–3 в Татарском проливе

Суммарные годовые значения “чистого” переноса БВ через границы районов 1–3 внутри пролива, как и значения “чистого” переноса через его внешние границы, могут быть как положительными, так и отрицательными в зависимости от значительный составляющих их привноса или выноса БВ (табл. 2).

Сопоставление составляющих годового переноса БВ через границы районов 1–3 показывает, что вынос БВ превалирует над их привносом в районах 1 и 2, а обратная тенденция имеет место в районе 3 (табл. 2).

Для района 1 при оценке переноса за год на единицу объема вод потери БВ с учетом разницы между их выносом и привносом БВ водными массами из соседних районов возрастают в ряду PD < NH₄ < DOP < ND < DON < DISi < NO₃ < DOC < O₂. Разница между годовыми значениями привноса и выноса DIP в район 1 в целом невелика и положительна (0.00674), и это связано с доминированием привноса DIP во вторую половину года (табл. 2).

При расчете переноса БВ на весь объем воды верхнего слоя последовательность возрастания “чистых” потерь БВ изменяется и ряд выглядит так – DIP < PD < ND < NH₄ < DOP < NO₃ < DON < DISi < DOC < O₂. Перегруппировка БВ в этом ряду зависит полностью от доминирования переноса отдельных БВ в те месяцы, когда объемы водных масс верхнего слоя значительны (как правило, это зимние месяцы), что и приводит к различиям в последовательности БВ в приведенных выше рядах (при

выражении концентраций БВ на единицу объема вод и в целом на объем вод верхнего слоя, участвующего в переносе) (табл. 2).

Отметим, что в районе 1 для всех БВ в августе сохраняется тенденция наибольшего их “чистого” переноса (с положительным знаком). Их значения по возрастанию “чистого” переноса составляют: PD — 0.00014 мг/(м³ мес) (0.165 т/мес), NH₄ — 0.00016 (0.183), DOP — 0.00217 (2.508), NO₃ — 0.00318 (3.677), DIP — 0.01207 (13.974), DON — 0.08557 (99.079), DISi — 0.15904 (184.154), DOC — 0.65355 (756.747), O₂ — 1.34749 (1560.258). Исключение имеется для ND: повышенное положительное значение его “чистого” переноса отмечается не в августе, а в мае и составляет 0.00536 (20.680).

Отрицательные значения “чистого” переноса в районе 1 наибольшие, как правило, в начале и в конце года, когда толщина верхнего слоя и, следовательно, объем воды в нем — максимальные. В январе—феврале в районе 1 отмечены наибольшие отрицательные значения “чистого” переноса ND ((-0.00249...-0.00259) мг N/(м³ мес)/(-9.614...-10.000) т N/мес), в январе—марте — DIP ((-0.00228...-0.00396)/(-8.788...-15.288)), DOP ((-0.00323...-0.00545)/(-12.447...-21.047)), NO₃ ((-0.01744...-0.02853)/(-67.316...-110.124)), DISi ((-0.04487...-0.07389)/(-173.191...-285.187)), DOC ((-0.19956...-0.34206)/(-770.223...-1320.217)), O₂ ((-1.09061...-0.32690)/(-209.369...-7269.843)), в феврале — NH₄ ((0.00316)/(-12.193)), в ноябре и декабре — DON ((-0.03162...-0.03442)/(-122.042...-132.861)) и O₂ ((-0.82916...-1.00475)/(-3200.267...-3878.001)), в декабре — PD ((-0.0025 мг P/(м³ мес)/(-7.912 т P/мес)).

В районе 2 годовой “чистый” перенос (или потеря) БВ по возрастанию их значений представлены в следующем ряду: NO₃ < NH₄ < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 2). Существенная доля (96.4—99.1%) годовых потерь БВ в районе 2 приходится на июнь. В остальные месяцы абсолютные значения “чистого” переноса БВ составляют <1% значений для июня. Исключение имеется только для “чистого” переноса NO₃, значения которого для зимних месяцев по абсолютной величине находятся в пределах 5—27% значения для июня.

В районе 3 значения годового “чистого” переноса БВ положительны и по возрастанию выстраиваются в следующем ряду: NO₃ < NH₄ < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 2). Значительное количество БВ поступает в район 3 из района 2, и для большинства БВ существенная часть (>95%) “чистого” переноса приходится на июнь. Как и в районе 2, исключение имеется для “чистого” переноса NO₃ — его значения с января по июль положительны (всего 0.20968 мг N/(м³ мес), или 0.394 тыс. т N за 7 мес), а для августа—декабря — отрицательны (-0.02929 мг N/(м³ мес), или -0.053 тыс. т N за 5 мес).

РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС БВ

Расчетные годовые значения переносов БВ — результирующего “чистого” горизонтального переноса (через внешние границы пролива и границы районов 1—3 внутри него) и вертикального перераспределения БВ показаны в табл. 3. Отметим, что исключительно высокие значения переноса БВ через границы между районами 1—3 внутри пролива в летние месяцы определяют значения результирующего “чистого” горизонтального переноса БВ в Татарском прол.

Район 1. Годовые значения “чистого” горизонтального переноса БВ через внешние и внутренние границы района 1 положительны (за исключением переноса O₂). По возрастанию они представлены в ряду PD < DIP < ND < DOP < NH₄ < NO₃ < DON < DISi < DOC (табл. 3). Значения “чистого” горизонтального переноса всех БВ положительны в мае—сентябре, а в начале и в конце года они, как правило, отрицательные. Исключение есть только для переноса NO₃: его “чистый” горизонтальный перенос здесь отрицателен в январе—апреле, в остальные месяцы он положителен; повышенные значения его переноса приходится на май—июнь ((0.1577—0.0944) мг N/(м³ мес) / (0.076—0.073) тыс. т N/мес).

Годовые значения “чистого” горизонтального переноса O₂ в этом районе в целом отрицательны (-3.1173 мг O₂/(м³ год) / (-22.298 тыс. т O₂/год), они положительны только в июне—августе ((0.6946—2.3805) мг O₂/(м³ мес) / (0.786—2.756) тыс. т O₂/мес).

Район 2. Годовые значения “чистого” горизонтального переноса БВ отрицательны (лишь для NO₃ это значение положительно). По возрастанию значений эти годовые потоки БВ можно представить в следующей последовательности: NH₄ < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 3). Основной поток годового “чистого” переноса БВ здесь формируется за счет значимого их выноса в июне. В остальные месяцы количество БВ, участвующих в процессах их переноса водными массами, невелико и не создается условий их накопления в исследуемых акваториях Татарского прол.

Годовые значения “чистого” горизонтального переноса NO₃ в этом районе в целом положительны (0.0798 мг N/(м³ год) / 0.193 тыс. т N/год), отрицательные значения “чистого” горизонтального переноса NO₃ отмечены в марте и апреле ((-0.0231...-0.0224)/(-58.657...-56.821)), а также в июне ((-0.0500)/(-25.409)).

Район 3. Годовые значения “чистого” горизонтального переноса всех БВ в районе 3 положительны. Эти годовые потоки БВ можно по возрастанию значений расположить в такой ряд: NO₃ < NH₄ < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂ (табл. 3). Значимый привнос БВ в июне из района 2 формирует основной поток годового “чистого” переноса БВ для района 3. В остальные месяцы на-

Таблица 3. Оцененные годовые значения “чистого” горизонтального и вертикального переноса БВ в районах 1–3 Татарского прол.

Химический показатель	Размерность	“Чистый” горизонтальный перенос через внешние границы и границы районов в проливе в районе			Вертикальный перенос в районе		
		1	2	3	1	2	3
PD	$\frac{\text{мг P}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т P/год}}$	$\frac{0.00983}{0.004}$	$\frac{-2.56578}{-1.256}$	$\frac{2.59216}{1.266}$	$\frac{0.00898}{0.019}$	$\frac{0.02752}{0.044}$	$\frac{0.00487}{0.001}$
DIP	$\frac{\text{мг P}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т P/год}}$	$\frac{0.01960}{0.004}$	$\frac{-11.32380}{-5.260}$	$\frac{11.34274}{5.180}$	$\frac{0.09063}{0.136}$	$\frac{0.53867}{0.976}$	$\frac{0.00509}{0.037}$
DOP	$\frac{\text{мг P}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т P/год}}$	$\frac{0.08217}{0.062}$	$\frac{-2.01796}{-0.0914}$	$\frac{2.15689}{1.135}$	$\frac{-0.00765}{-0.028}$	$\frac{-0.02712}{-0.068}$	$\frac{-0.00791}{-0.015}$
ND	$\frac{\text{мг N}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т N/год}}$	$\frac{0.05313}{0.067}$	$\frac{-60.06959}{-77.884}$	$\frac{60.46442}{-78.283}$	$\frac{0.54808}{1.114}$	$\frac{3.38324}{5.680}$	$\frac{0.95961}{1.634}$
NH ₄	$\frac{\text{мг N}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{т N/год}}$	$\frac{0.23821}{0.279}$	$\frac{-0.27152}{-0.002}$	$\frac{0.46395}{0.258}$	$\frac{6.25867}{7.617}$	$\frac{-0.00139}{-0.007}$	$\frac{0.00113}{0.001}$
NO ₃	$\frac{\text{мг N}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т N/год}}$	$\frac{0.27686}{0.126}$	$\frac{0.07981}{-0.063}$	$\frac{0.20075}{0.342}$	$\frac{-0.02135}{-0.080}$	$\frac{-0.00255}{-0.080}$	$\frac{0.05551}{0.124}$
DON	$\frac{\text{мг N}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т N/год}}$	$\frac{0.45663}{0.264}$	$\frac{-113.77807}{-56.778}$	$\frac{114.41941}{56.800}$	$\frac{0.71532}{1.219}$	$\frac{6.98219}{12.686}$	$\frac{1.37315}{2.597}$
DISi	$\frac{\text{мг Si}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т Si/год}}$	$\frac{1.68397}{1.435}$	$\frac{-409.53137}{-203.136}$	$\frac{415.92529}{207.020}$	$\frac{0.59923}{1.174}$	$\frac{3.76335}{7.179}$	$\frac{0.29695}{0.832}$
DOC	$\frac{\text{мг C}/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т C/год}}$	$\frac{2.86090}{0.569}$	$\frac{-780.00191}{-379.304}$	$\frac{791.94853}{390.841}$	$\frac{2.12524}{2.901}$	$\frac{31.0360}{57.180}$	$\frac{4.29599}{9.443}$
O ₂	$\frac{\text{мг O}_2/(\text{м}^3 \text{ год})}{\text{тыс. т O}_2/\text{год}}$	$\frac{-3.11725}{-22.298}$	$\frac{-6611.4566}{-3356.618}$	$\frac{6696.8778}{3411.555}$	$\frac{-9.02721}{-16.510}$	$\frac{-48.0865}{-88.785}$	$\frac{-14.6829}{-26.254}$

правления переноса БВ водными массами могут менять знак, а их значения в целом остаются не большими и не являются определяющими в накоплении БВ в этом районе.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПЕРЕНос БВ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ

Положительный знак означает доминирование за год привноса (в верхний слой из нижнего) над потерями БВ, а отрицательный — напротив, большие потери БВ (в верхнем слое) в сравнении с их привносом (табл. 3). Особенности и интенсивность вертикального переноса БВ в каждом районе выражены по-своему, а закономерности в преобладании переноса конкретных БВ в том или ином районе по годовым значениям выявить достаточно трудно. Изменения переноса БВ по месяцам строго индивидуальны и могут быть как положительными, так и отрицательными. Проведем анализ полученных годовых значений вертикального переноса БВ и имеющихся оценок их изменения по отдельным месяцам в районах 1–3.

Район 1. Суммарные годовые значения вертикального переноса БВ располагаются в два ряда по возрастанию их отрицательных значений ($DOP < NO_3 < O_2$) и положительных ($PD < DIP < ND < DISi < DON < DOC < NH_4$) (табл. 3). В разные месяцы значения вертикального переноса БВ меняют знак. Вертикальный перенос DIP отрицателен в январе и феврале ($(-0.0008...-0.0016) \text{ мг}/(\text{м}^3 \text{ мес})/(-0.003...-0.006) \text{ тыс. т/год}$) и положителен в остальную часть года, а наибольшие его значения приходятся май–сентябрь ($(0.0097-0.0175)/(0.009-0.019)$). Значения вертикального переноса DOP отрицательны в январе–мае и сентябре–декабре, они наименьшие в феврале–апреле ($(-0.0036...-0.0024)/(-0.014...-0.003)$), а в июне–августе они положительны. Вертикальный перенос PD в январе–октябре положителен (наиболее интенсивен в феврале и апреле–июне: $(0.0012-0.0018)/(0.001-0.006)$), а в ноябре и декабре — он отрицателен. Для NH_4 , DON, ND и DISi значения вертикального переноса во все месяцы остаются положительными. Наиболее значительны они в июне–сентябре для NH_4 ($(2.1030-0.9759)/(1.287-1.883)$), в феврале — для ND ($0.0874/0.337$), в мае–августе — для DON ($(0.0817-0.1697)/(0.082-0.105)$), ND ($(0.0569-0.1190)/(0.048-0.072)$) и DISi ($(0.0685-0.1152)/(0.056-0.081)$). Вертикальный перенос NO_3 положителен в январе и в июне–декабре (наибольший — в январе $(0.0145/0.056)$), а в феврале–мае он отрицателен (наибольшие потери в феврале и апреле $(-0.0178...-0.0143)/(-0.069...-0.055)$). Значения вертикального переноса DOC отрицательны в феврале и марте ($(-0.1180...-0.0047)/(-0.455...-0.018)$) и положительны в остальные месяцы (при наибольших значениях переноса в мае–августе $(0.2820-0.5282)/(0.255-0.362)$). Вертикальный

перенос O_2 в течение года отрицателен при наиболее интенсивных его значениях в мае–августе ($(-0.9261...-2.1767)/(-0.988...-1.263)$).

Район 2. Отрицательные и положительные суммарные годовые значения вертикального переноса БВ по возрастанию располагаются соответственно в рядах: $NH_4 < NO_3 < DOP < O_2$ и $PD < DIP < ND < DISi < DON < DOC$ (табл. 3). Анализ изменения вертикального переноса БВ в разные месяцы показывает, что перенос по вертикали DIP отрицателен в январе–марте — $((-0.0010...-0.0042) \text{ мг}/(\text{м}^3 \text{ мес})/(-0.003...-0.011) \text{ тыс. т/год})$ и положителен в остальной период года, а наибольшие значения вертикального переноса приходятся на август–октябрь $(0.0099-0.1306)/(0.075-0.166)$. Вертикальный перенос DOP отрицателен в январе–мае, в августе и в декабре (наибольшие его значения приходятся на март и апрель $((-0.0126...-0.0113)/(-0.032...-0.029))$), а положительные значения в остальные месяцы невелики и наибольшие в июле $(0.0014/0.001)$. Значения вертикального переноса PD в январе–ноябре положительны и наибольшие в марте и апреле $(0.0049-0.0050)/(0.012-0.013)$, а в декабре его перенос по вертикали отрицателен.

Вертикальный перенос NH_4 отрицателен в январе–мае с наибольшими потерями в марте $(-0.0035 \text{ мг N}/(\text{м}^3 \text{ мес})/-0.009 \text{ тыс. т N/мес})$, его положительные значения в остальной период года не превышают $0.0008/0.001$. Перенос по вертикали NO_3 отрицателен в феврале–апреле (с наибольшими потерями в марте $(-0.0035/-0.009)$), и положителен в остальные месяцы (наибольшие поступления — в августе и сентябре — $(0.0135-0.0143)/(0.010-0.018)$).

Для DON, ND и DISi вертикальный перенос во все месяцы положителен, наибольшие значения для DON приходятся на апрель $(0.3334/0.847)$ и август–декабрь $(0.7164-1.5524)/(0.907-3.566)$, для ND — на март и апрель $(0.03056-0.3598)/(0.776-0.914)$ и на июль–октябрь $(0.4041-0.6598)/(0.332-0.838)$, для DISi — на март и апрель $(0.1143-0.1437)/(0.290-0.365)$ и август–декабрь $(0.4267-0.8020)/(0.457-2.148)$. Вертикальный перенос DOC отрицателен в феврале $(-0.0581/-0.148)$ и положителен в остальные месяцы (при наибольших значениях в июле–декабре $(3.1692-7.0562)/(2.415-18.429)$). Значения переноса O_2 по вертикали в течение года отрицательны, а наибольшие его потери приходятся на июль–декабрь $(-3.9717...-9.1774)/(-3.589...-20.072)$.

Район 3. Положительные суммарные годовые значения переноса БВ по вертикали располагаются по возрастанию в следующей последовательности: $NH_4 < PD < DIP < NO_3 < DOP < DISi < ND < DON < DOC$, отрицательные: $DOP < O_2$. Вертикальный перенос DIP отрицателен в январе–августе с наибольшими потерями в феврале и марте $(-0.0060...-0.0031 \text{ мг}/(\text{м}^3 \text{ мес})/(-0.015...-0.008) \text{ тыс. т/мес и}$

положителен в сентябре–декабре при наибольших значениях в ноябре и декабре ((0.0058–0.0111)/(0.022–0.042)). Значения переноса по вертикали DOP отрицательны в феврале–марте и августе–декабре (наибольшие они в феврале: –0.0031/–0.008, в остальные месяцы они положительны, но не превышают 0.0005/<0.001). Перенос по вертикали PD имеет небольшие отрицательные значения в феврале и в ноябре–декабре, в остальные месяцы он положителен и наибольший в августе (0.0018/0.001).

Вертикальный перенос NH₄ положителен в январе–октябре и характеризуется низкими значениями – не более 0.0004 мг/(м³ мес) / 0.001 тыс. т/мес, а отрицательные значения приходятся на ноябрь–декабрь и не превышают (–0.0004/–0.001). Перенос по вертикали NO₃ отрицателен в августе–сентябре и декабре и находятся в пределах (–0.0007...–0.0020)/(–0.001...–0.004), в остальные месяцы он положителен при наибольших значениях в январе–феврале ((0.0201–0.0169) / (0.050–0.043)).

Для DON, ND и DOC значения вертикального переноса во все месяцы положительны. Наиболее значительны они для DON в августе, октябре и декабре – меняются в диапазоне (0.2016–0.2452)/(0.185–0.802), для ND – в феврале (0.1319/0.333), августе (0.1902/0.144) и октябре (0.1224/0.154), а для DOC – в мае–июне ((0.2251–0.3220)/(0.162–0.030)) и в августе–декабре ((0.3104–1.1758)/(0.391–4.444)).

Вертикальный перенос DISi положителен в январе–июне и ноябре–декабре при наибольших значениях в феврале (0.1013/0.255) и ноябре–декабре ((0.0255–0.0638)/(0.096–0.241)). Отрицательные его значения приходятся на июль–октябрь с наибольшими потерями в августе–октябре ((–0.0114...–0.0153)/(–0.009...–0.019)). Значения переноса по вертикали O₂ в течение года отрицательны при наибольших значениях в феврале (–2.0066/–5.057), августе (–2.4382/–1.843) и октябре–декабре ((–0.8820...–1.7377)/(–2.190...–5.322)).

Таким образом, выявленные наибольшие отрицательные значения вертикального переноса составляют для: DIP – (–0.0060 мг/(м³ мес)/–0.015 тыс. т/мес) (февраль, район 3), DOP – (–0.0126)/(–0.032) (март, район 2), PD – (–0.0012)/(–0.005) (декабрь, район 3), NH₄ – (–0.0035)/(–0.009) (март, район 2), NO₃ – (–0.0502)/(–0.127) (март, район 2), DISi – (–0.0153)/(–0.019) (октябрь, район 3), DOC – (–0.1180)/(–0.455) (февраль, район 1), O₂ – (–9.1774)/(–11.656) (сентябрь, район 2). Для DON и ND отрицательные значения вертикального переноса не встречались ни в одном месяце в исследованных районах Татарского прол.

Выявленные наибольшие положительные значения вертикального переноса составляют для DIP 0.1306 мг/(м³ мес) / 0.166 тыс. т/мес (сентябрь, район 2), DOP – 0.0014 / 0.001 (июль, район 2), PD – 0.0051/0.004 (август, район 2), NH₄ – 2.1030/1.623 (июнь, район 1), NO₃ – 0.0201/0.051 (январь, район

3), DON – 1.5525/1.972 (сентябрь, район 2), ND – 0.6598/0.838 (сентябрь, район 2), DISi – 0.8020/1.019 (сентябрь, район 2), DOC – 7.0562/8.962 (сентябрь, район 2). Положительных значений вертикального переноса O₂ не было ни в одном месяце в исследованных районах Татарского прол.

ВЫВОДЫ

При расположении БВ в ряды по возрастанию их переноса выяснено, что меняется их последовательность на левом фланге (наименьший перенос), а на правом фланге (наибольший перенос) она остается неизменной.

Для районов 1–3 значения годового привноса БВ через внешние границы Татарского прол. возрастают в следующих рядах:

район 1: DIP < PD < ND < DOP < NH₄ < NO₃ < DON > DISi < DOC < O₂,

район 2: PD < ND < DIP < DOP < NH₄ < NO₃ < DON > DISi < DOC < O₂,

район 3: PD < ND < NH₄ < DIP < DOP < NO₃ < DON > DISi < DOC < O₂.

Последовательность БВ в рядах для районов 1–3 практически не зависит от расположения внешних границ районов (на севере или на юге пролива), поэтому эти ряды мало отличаются качественно. В левой их части располагаются минеральные и детритные компоненты P и N, привнос которых через внешние границы в районы 1–3 меньше, чем других БВ, а в правой части расположены O₂, DOC и DISi, содержание которых в природных водах, как правило, достаточно высокое.

Значения годового привноса БВ в районы 1–3 через их границы внутри пролива возрастают в следующей последовательности:

район 1: NH₄ < PD < DOP < NO₃ < ND < DIP < DON < DISi < DOC < O₂,

район 2: NH₄ < PD < DOP < NO₃ < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂,

район 3: NO₃ < NH₄ < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O₂.

Выявляется соответствие в последовательности БВ: для районов 1 и 2 – на левом фланге (по первым четырем БВ), для районов 2 и 3 – на правом фланге (с пятого по десятое БВ), а для всех районов – на правом фланге (с седьмого по десятое БВ).

Сравнение рядов БВ, характеризующих их привнос в районы 1–3 через внешние границы пролива и через границы районов внутри него, выявляет небольшие отличия в их последовательности БВ на левых флангах: наименьшее количество БВ, привносимых водными массами в течение года из соседних внешних акваторий, приходится на DIP, PD, ND, NH₄ и DOP, а за счет переноса внутри пролива – на NH₄, NO₃, PD и DOP. На правых флангах отмечена

полная идентичность расположения последних четырех БВ.

По возрастанию значений годового выноса БВ через внешние границы Татарского прол. их можно расположить в следующие ряды:

район 1: $PD < ND < NH_4 < DIP < DOP < DON < NO_3 < DISi < DOC < O_2$,

район 2: $NH_4 < PD < DIP < DOP < ND < NO_3 < DON < DISi < DOC < O_2$,

район 3: $NH_4 < PD < DOP < NO_3 < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O_2$.

Количественно годовой вынос разных БВ водными массами через внешние границы районов 1–3 наибольший в районе 3, а наименьший – в районе 1. Последовательность БВ, характеризующая возрастание их потерь за год, для района 1 отличается от таковых для районов 2 и 3. Качественный состав потерь БВ в районах 2 и 3 мало отличается. Установлено соответствие в последовательности БВ: для районов 2 и 3 – на левом фланге (по первым двум БВ) и на правом фланге (по последним четырем БВ), для всех районов – на правом фланге (с восьмого по десятое БВ). Значительно меньше за год потерь тех БВ, которые активно участвуют в процессах биотрансформации в морской среде (детритные фракции P и N, NH_4 , DIP и DOP). Значительно больше вынос через внешние границы районов 1–3 O_2 , DOC и DISi, которые характеризуются своей мобильностью (они также доминируют в привносе водными массами через внешние границы пролива в указанные районы).

Годовой вынос БВ водными массами через границы районов 1–3 в Татарском прол. по мере их возрастания характеризуют следующие ряды:

район 1: $PD < NH_4 < NO_3 < DOP < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O_2$,

район 2: $NH_4 < NO_3 < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O_2$,

район 3: $NH_4 < DOP < PD < NO_3 < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O_2$.

Вынос БВ наибольший в районе 2, наименьший – в районе 1. Изменения в последовательности БВ в этих рядах отмечено только на левых флангах, а последовательность шести БВ на правом фланге в этих рядах одна и та же.

Сравнение последовательности БВ в рядах, характеризующих возрастание их выноса через внешние границы пролива и через границы районов внутри пролива, показывает, что наименьшие потери при выносе БВ в первом случае представлены детритными фракциями P и N, NH_4 , DIP и DOP, а во втором – органическими фракциями P (PD и DOP) и минеральными N (NH_4 и NO_3). Выявлено также соответствие последних трех и четырех БВ на правых флангах соответственно для районов 1 и 3, а также 2 и 3 в рассматриваемых рядах.

Значения годового “чистого” переноса БВ водными массами через внешние границы моря положительны для районов 1 и 2, по возрастанию они выстраиваются в следующем порядке:

район 1: $DIP < PD < ND < DOP < NH_4 < NO_3 < DON < DISi < DOC < O_2$,

район 2: $ND < PD < DIP < DOP < NO_3 < NH_4 < DON < DISi < DOC < O_2$.

Эти ряды повторяют последовательности БВ, характеризующие годовой привнос БВ через внешние границы пролива. Для района 3 подобный ряд БВ подразделяется на два самостоятельных – в первом БВ располагаются по возрастанию потерь за год за счет выноса водными массами из Татарского прол. в Японское море ($PD < ND < DIP < DON < DISi < DOC < O_2$), а во втором – по возрастанию поступлений БВ, привносимых в район 3 из Японского моря ($DOP < NH_4 < NO_3$). Отметим, что точно так же соотносятся поступления этих БВ за счет переноса водных масс с юга в район 2 и с севера в район 1.

Значения годового “чистого” переноса БВ водными массами через границы районов внутри пролива для районов 1 и 2 отрицательны, а для района 3 – положительны. В представленных ниже рядах показана последовательность БВ в районах 1 и 2 по возрастанию значений их потерь, а для района 3 – поступлений БВ при водообмене через границы районов 1–3 внутри пролива:

район 1: $PD < NH_4 < DOP < ND < DON < DISi < NO_3 < DOC < O_2$,

район 2: $NO_3 < NH_4 < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O_2$,

район 3: $NO_3 < NH_4 < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O_2$.

На левом фланге в этих рядах сосредоточены такие фракции как PD, NO_3 , NH_4 и DOP, которые характеризуют ряды привноса и выноса БВ за счет водообмена через внутренние границы районов 1–3. В последовательности БВ для района 1 имеют место некоторые отличия от таковых для районов 2 и 3. Ряды БВ для районов 2 и 3 полностью совпадают, так как количественные и качественные характеристики основного выноса БВ из района 2 находятся в полном соответствии с их поступлением в район 3.

Значения годового результирующего “чистого” горизонтального переноса БВ водными массами через внешние границы пролива и границы районов 1–3 внутри него для районов 1 и 3 положительны, а для района 2 – отрицательны. Эти ряды по возрастанию значений привноса БВ (для районов 1 и 3) и их выноса (для района 2) можно представить так:

район 1: $PD < DIP < ND < DOP < NH_4 < NO_3 < DON < DISi < DOC < O_2$,

район 2: $NO_3 < NH_4 < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O_2$,

район 3: $NO_3 < NH_4 < DOP < PD < DIP < ND < DON < DISi < DOC < O_2$.

Эти ряды в той или иной мере повторяют последовательности БВ, характеризующие годовой “чистый” перенос БВ через внешние границы пролива и границы районов внутри него. На левом фланге ряда для района 1 расположены PD, DIP, ND и DOP – вещества, характеризующие положительную составляющую “чистого” переноса БВ через внешние границы района, а эффект отрицательной составляющей “чистого” переноса через границы внутри пролива для этого района в целом не выражен. Для районов 2 и 3 значения годового результирующего “чистого” горизонтального переноса определяются в большей степени составляющими “чистого” переноса через границы этих районов в проливе. Последовательности БВ, характеризующие возрастание годовых значений “чистого” горизонтального переноса (потерь для района 2 и привноса для района 3) БВ, полностью совпадают с таковыми, характеризующими перенос через границы этих районов в проливе.

Годовые значения результирующего “чистого” горизонтального переноса для района 1 в большей степени определяются водообменом через внешние границы пролива (с севера), а для районов 2 и 3 – через их границы в самом проливе.

Годовой вертикальный перенос БВ для районов 1–3 по возрастанию значений поступлений БВ (+) и их потерь (–) можно представить следующими рядами:

район 1 (+): $PD < DIP < ND < DISi < DON < DOC < NH_4$,

(–): $DOP < NO_3 < O_2$,

район 2 (+): $PD < DIP < ND < DISi < DON < DOC$,

(–): $NH_4 < NO_3 < DOP < O_2$,

район 3 (+): $NH_4 < PD < DIP < NO_3 < DOP < DISi < ND < DON < DOC$,

(–): $DOP < O_2$.

В этих рядах выявлено определенное сходство и отличия в последовательностях расположения БВ, характеризующих их перенос по вертикали в районах 1–3. Несмотря на большие значения переноса БВ по вертикали в районе 2, чем в районе 1, ряды, характеризующие возрастание поступлений БВ в верхний слой в этих районах, практически идентичны, но при одном отличии – полярном расположении в этих рядах NH_4 : в районе 1 – крайнее на правом фланге положительного ряда, а в районе 2 – крайнее на левом фланге отрицательного ряда. Так-

же есть определенное сходство по составу компонентов отрицательного ряда для этих районов, а отличаются они присутствием NH_4 (для района 2) и разной последовательностью расположения в этих рядах одних и тех же компонентов (DOP, NO_3 и O_2). Для района 3 в отрицательном ряду, в отличие от районов 1 и 2, остаются только два компонента (DOP и O_2), а в положительном ряду имеется некоторое сходство с таковыми для районов 1 и 2 – присутствие на левом фланге PD и DIP, на правом – DON и DOC, и одинаковое их соотношение ($PD < DIP$, $DON < DOC$). В средней части ряда для района 3 последовательность расположения БВ несколько отличается от таковых для районов 1 и 2.

Выявлена особенность переноса БВ для района 1: сопоставимость годовых значений результирующих “чистых” горизонтального и вертикального переносов БВ, а также аналогичное расположение и соотношение на левом фланге в этих положительных рядах одних и тех же БВ ($PD < DIP < ND$). Для районов 2 и 3 подобного сходства характеристик переноса БВ не обнаружено, а результирующий “чистый” горизонтальный перенос в этих районах намного превышает вертикальный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леонов А.В.* Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений С, N, P, Si: учебное пособие // Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. 168 с.
2. *Леонов А.В., Пищальник В.М., Чичерина О.В.* Трансформация биогенных веществ в водах Татарского пролива (Японское море): анализ результатов моделирования // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 1. С. 33–59.
3. *Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В.* Восстановление среднемесячных термохалинных полей в Татарском проливе // Вод. ресурсы. 2009. Т. 36. № 6. С. 655–667.
4. *Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В.* Моделирование циркуляции вод в Татарском проливе // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 6. С. 657–670.
5. *Пищальник В.М., Бобков А.О.* Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин // Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. Ч. I. 174 с.; Ч. II. 108 с.
6. Руководящий документ 52.88.699. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. М.: ВНИИГМИ-МЦД, 2008. 33 с.