

УДК 556:574.4

НАПРАВЛЕНИЕ КИСЛОРОДНОГО ПОТОКА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА «ВОДА – ВОЗДУХ» КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «РЕКА ПРЕГОЛЯ – ВИСЛИНСКИЙ ЗАЛИВ»

В.И. Сухорук*

*Атлантическое отделение Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН,
Россия, 236022, г. Калининград, пр. Мира, 1
E-mail:vladimir. sukhoruk@atlantic.ocean.ru

По материалам мониторинговых наблюдений по программе «Балтика» оценивались скорости обмена кислородом по формуле Ю.И. Ляхина. Расчеты проводились на шести реперных станциях (две в заливе, две в устье реки и две в реке в черте города) с 1996 по 2003 гг. в периоды отсутствия льда. Цель работы: отработка методов и рекомендаций по улучшению экологической ситуации в исследуемом районе. Задача исследований: выявить пространственно-временную динамику экологического состояния системы «река – залив». В статье обсуждаются причины и следствия ухудшения экологического состояния в системе «р. Преголя – Вислинский залив». Анализ динамики скоростей кислородного потока позволил сделать вывод о том, что экологическая ситуация существенно ухудшается в направлении от Вислинского залива до р. Преголи. Необходимо провести очистительные работы в районах переуглублений дна р. Преголи как источника вторичного загрязнения ее и всей системы сообщающихся водных акваторий.

эвазия, инвазия кислорода, метод Ю.И. Ляхина, экологическое состояние

ВВЕДЕНИЕ

Динамика растворенного кислорода в поверхностном слое водоема определяется соотношением процессов продуцирования кислорода при фотосинтезе («молодой» кислород) и потребления его на биологические и биохимические процессы (биохимическое потребление кислорода – БПК), а также влиянием горизонтальной адвекции и обменом с нижележащими слоями.

Как следствие, поверхностные воды в одних районах в результате процессов фотосинтеза могут быть пересыщены кислородом (его относительное содержание становится выше 100 %). Соответственно поток кислорода будет направлен из воды в воздух – процесс эвазии. В других – из-за превалирования процессов деструкции над фотосинтезом или обмена с менее насыщенными кислородом водами они становятся ненасыщенными кислородом (относительное содержание кислорода становится менее 100 %). Следовательно, поток кислорода будет направлен из атмосферы в воду – инвазия («старый» кислород). Движущей силой процесса переноса газа из одной среды в другую выступает обычно перепад парциальных давлений газа на границе раздела вода – воздух.

Цель работы: выявить пространственно-временные различия в динамике экологического состояния исследуемой водной системы по интегральному показателю скорости потоков кислорода на границе вода – воздух. Работы выполнены по программе «Балтика», в которых принимал участие и автор.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Скорость потока кислорода оценивалась на основе данных гидрохимических и гидрометеорологических наблюдений за семь лет с 1996 по 2003 гг. (в основном с марта по декабрь, пока река не покрывалась льдом) с периодичностью один-два раза в месяц. Измерения термохалинных и гидрохимических параметров проводились многоканальным зондом итальянской фирмы «Idronaut». Работы с зондом велись вручную с борта маломерного катера в режиме зондирования от поверхности до дна со скоростью приблизительно 0.5 м/с. В 1998 г. измерения не проводились. Расчеты выполнены для шести реперных станций: две в заливе – № 6, 9, две в Калининградском морском канале – №15, 21 и две в р. Преголе в черте города – № 24, 27 (рис. 1). Потоки кислорода оценивались по методу Ю.И. Ляхина [4, 5].

При получении констант эвазии и инвазии Ю.И. Ляхиным для расчета скоростей потоков кислорода в опытах использовалась синтетическая морская вода с соленостью 34.7‰, и коэффициент эвазии был равен $11.5 \text{ л.м}^{-2}.\text{ч}^{-1}$, а инвазии соответственно – $22.0 \text{ л.м}^{-2}.\text{ч}^{-1}$ при погрешности измерений $\pm 15\%$ [4]. На основании своих более поздних экспериментов Ю.И. Ляхин для солоноватых вод рекомендовал использовать константы кислородного потока равными для инвазии 4.37 и для эвазии 2.24 $\text{л/м}^2\text{ч}$ [5]. Поскольку исследуемый нами район нельзя отнести к чистому, а соленость воды была ближе к 5‰, то логичнее использовать рекомендованные Ю.И. Ляхиным константы в отличие от известных констант эвазии/инвазии, применяемые для морских и океанских вод.

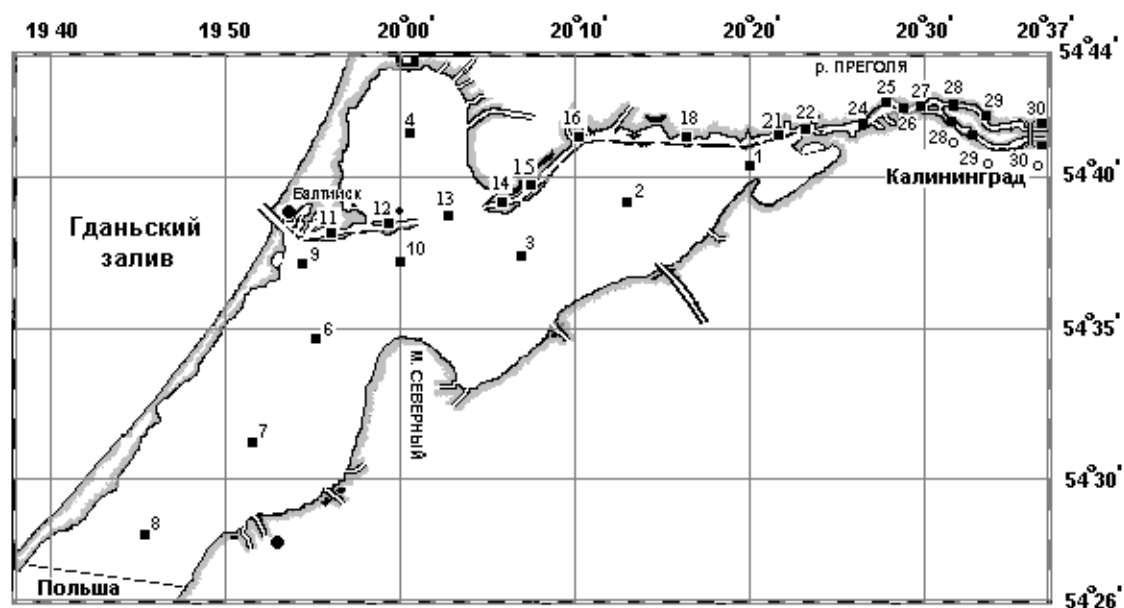


Рис. 1. Схема расположения станций зондирования и отбора проб на акватории эстуарной системы р. Преголя – Калининградский морской канал – Вислинский залив

Fig. 1. The scheme of an arrangement of stations of sounding and sampling on water area эстуарной systems of river Pregolja – the Kaliningrad sea channel – the Vistula Lagoon

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вислинский залив. В исследуемый период в заливе отмечается довольно значительная изменчивость в скоростях и направлениях потока кислорода на границе вода-воздух. Процессы эвазии наблюдались в 1996-1999 гг. с максимумом почти до $16 \text{ мл/л/м}^2 \cdot \text{ч}$, а инвазии – в 2001-2002 гг., и её величина достигла максимума – $45.04 \text{ мл/л/м}^2 \cdot \text{ч}$ (см. рис. 2, А). На этом рисунке и далее на всех остальных в виде диаграмм представлены средние значения скоростей потоков кислорода, а тонкими вертикальными линиями – их пределы колебаний.

Следует иметь в виду, что содержание кислорода в поверхностном слое залива контролируется, главным образом, следующими факторами: 1) вертикальным перемешиванием между слоями; 2) притоком речной воды; 3) содержанием растворенного кислорода и органического вещества (взвешенного и растворенного) в речной воде; 4) бактериальным дыханием; 5) продукцией фотосинтеза; 6) обменом с атмосферой. Причем даже при равных скоростях ветра, но его различной направленности, формируются и различные зоны вергенции.

Соответственно при циклональной циркуляции будут усиливаться вертикальные скорости подъема придонных вод, менее насыщенных кислородом и более соленых, а при антициклональной – усиливаться процессы аэрации этих слоев вертикальными токами поверхностных, более насыщенных кислородом и с меньшей соленостью вод. Поэтому прямой связи между соленостью и скоростью потока кислорода при равных скоростях ветра не прослеживается. Каждый пример связи скоростей потоков кислорода с колебаниями солености следует рассматривать именно с анализом типов вергенций потоков. В работе такие связи не рассматривались.

Наиболее благоприятная экологическая ситуация в заливе складывалась в вегетационный период 1996, 1997 и 1999 гг., когда поверхностные воды были пересыщены кислородом и отмечался процесс эвазии (соответственно 4.51 ; 9.99 ; $8.24 \text{ мл/л/м}^2 \cdot \text{ч}$) при небольших колебаниях солености в пределах 4.0 - 4.5 ‰. Примечательно, что в 2003 г. наблюдался максимум эвазии кислорода до $26 \text{ л/м}^2 \cdot \text{ч}$ при сохранении тенденции к росту солености в толще вод (см. рис. 2, А). Заметно ухудшилась экологическая ситуация в осенний период наблюдений. Процессы эвазии кислорода отмечались лишь в 1997 и 2003 гг. В остальные годы залив оставался «реципиентом» кислорода с максимальной скоростью инвазии до $24.5 \text{ л/м}^2 \cdot \text{ч}$ параллельно с увеличением солёности до 5.5 ‰.

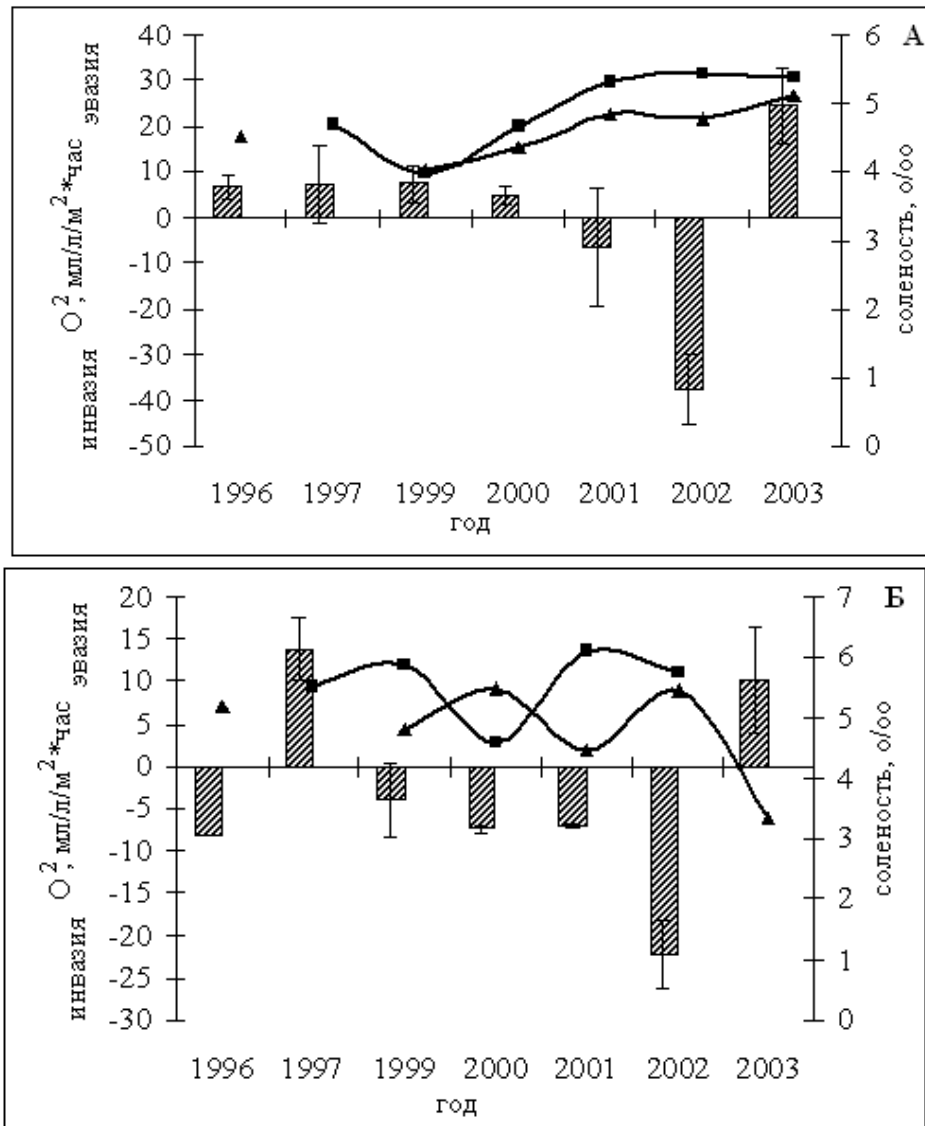


Рис. 2. Межгодовая изменчивость кислородного обмена и солености на станциях № 6 и 9, весна – лето (А) и осень (Б), Вислинский залив:

■ – соленость, дно; ▲ – соленость, поверхность; ▨ – поток кислорода

Fig. 2. Interannual variability of an oxygen exchange and salinity at stations № 6 and 9, spring – summer (A) and autumn (B), Vistula Lagoon:

■ – salinity, a bottom; ▲ – salinity, a surface; ▨ – an oxygen stream

Калининградский морской канал. Процесс эвазии наблюдался только осенью в 2001 г. и весной-летом в 2002 г. Максимальная скорость инвазии в 2002 г. достигала $68 \text{ мл/л/м}^2 \cdot \text{ч}$. Примечательно, что и в динамике солености в поверхностных слоях отмечалась квазидвухлетняя цикличность с тенденцией возрастания солености с 1997 по 2003 гг. Максимальная величина инвазии достигала $124.5 \text{ мл/л/м}^2 \cdot \text{ч}$ в 2001 г. (весна-осень). Второй пик скоростей инвазии отмечался в 2000-2003 гг. (см. рис. 3, А, Б).

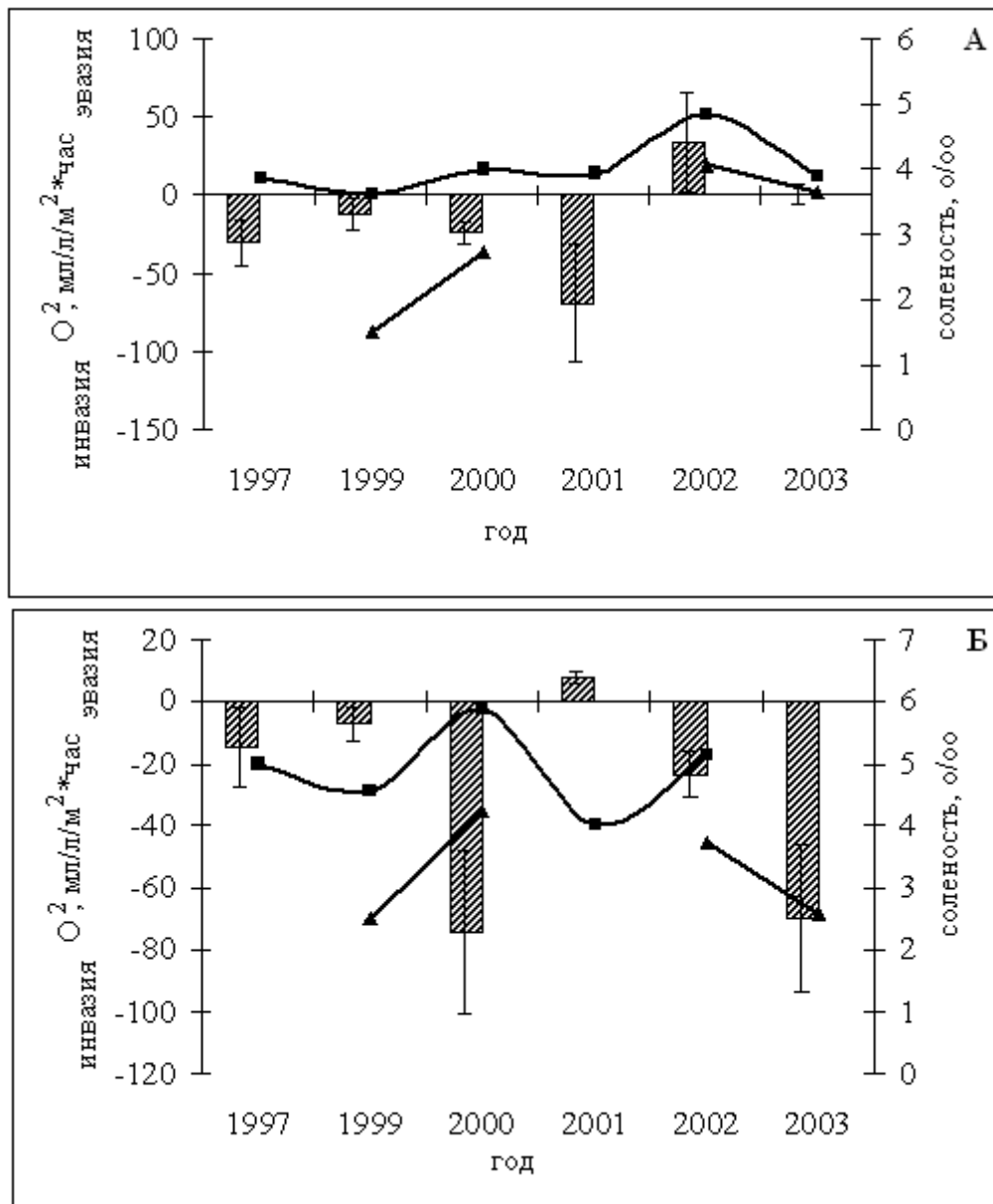


Рис. 3. Межгодовая изменчивость кислородного обмена и солёности на станциях № 15 и 21, весна – лето (А) и осень (Б), Калининградский морской канал:

■ — солёность, дно; ▲ — солёность, поверхность; ▨ — поток кислорода

Fig. 3. Interannual variability of an oxygen exchange and salinity at stations № 15 and 21, spring – summer (A) and autumn (B), the Kaliningrad sea channel:

■ — salinity, a bottom; ▲ — salinity, a surface; ▨ — an oxygen stream

Река Преголя (в черте г. Калининграда). В р. Преголе в черте г. Калининграда находятся две станции – № 24 и 27. Станция № 24 располагается в районе предприятий ООО «Судоремонт-Балтика» (бывший КСРЗ) и ЗАО «Цепрусс»; станция № 27 – в районе набережной у спорткомплекса «Юность», здесь находится вторая «яма» глубиной 15 м, также с накоплением загрязнённых жидких и полужидких илов.

Отличительной особенностью в динамике скоростей и направлений потоков кислорода в р. Преголе является, во-первых, постоянство ее роли «реципиента» кислорода и, во-вторых, тенденция к росту скоростей инвазии в весенне-летний период с 1997 по 2003 гг. с максимумом инвазии в 2002 г. до 195.58 мл/л/м²*ч при средней величине порядка 175 (рис. 4, А). Осенью скорости инвазии были достаточно близкими, в пределах 10-30 мл/л/м²*ч, и лишь в 2000 и 2003 гг. достигали пиков соответственно до 120 и 160 мл/л/м²*ч (рис. 4, Б).

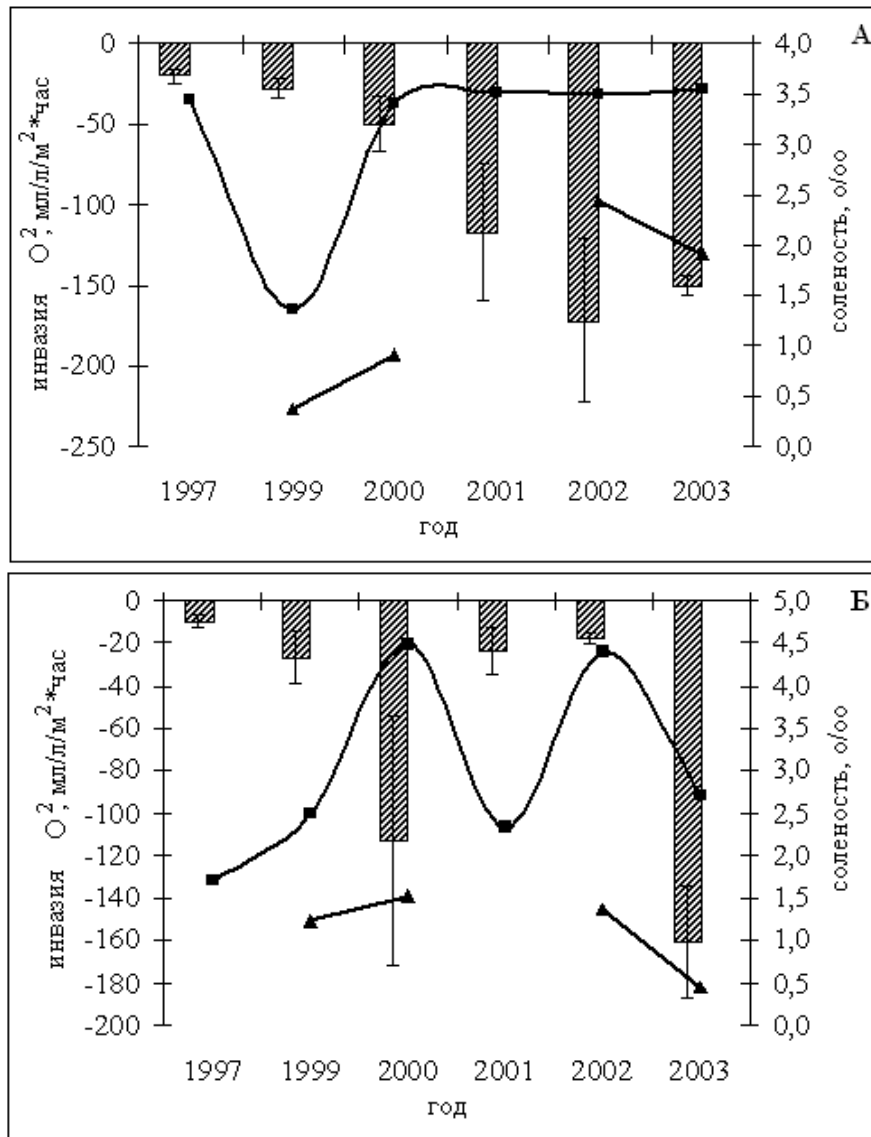


Рис. 4. Межгодовая изменчивость кислородного обмена и солености на станциях № 24 и 27, весна – лето (А) и осень (Б), р. Прегоlja

■ соленость, дно; ▲ соленость, поверхность ▨ поток кислорода

Fig. 4. Interannual variability of an oxygen exchange and salinity at stations № 24 and 27, spring – summer (A) and autumn (B), river Pregolja

■ Salinity, a bottom; ▲ salinity, a surface, ▨ an oxygen stream

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для Вислинского залива характерна заметная динамика в изменениях скоростей потоков кислорода. Причем с их возрастанием после 2000 г., по данным С.В. Александрова, в 2001 г. отмечалось массовое развитие синезеленых водорослей. Если в 1990 г. биомасса фитопланктона составляла в среднем по российской части залива 71.90 г/м^3 , то в 2001 г. она возросла до 181.2 г/м^3 . Первичная продукция в 2001-2003 гг. составила соответственно в среднем 0.9, 1.2 и $1.0 \text{ гСм}^{-2}\text{сут}^{-1}$, а деструкция – 1.4, 0.8 и $0.6 \text{ гСм}^{-2}\text{сут}^{-1}$ [1]. В условиях эвтрофности залива следует учитывать тот факт, что после каждого пика цветения содержание кислорода может уменьшаться на 10-20% от насыщения, поскольку на разложение отмершей органики затрачивается до 64% всего кислорода [2]. Поэтому доля атмосферной реэрации может оставаться высокой. К примеру, величина эвазии кислорода в 1994 г. составила около 30 % от продукции кислорода, а в 1995 г. – около 11 % [7].

С другой стороны, осенне-зимние процессы перемешивания и конвекции обычно в мелководных водоемах приводят к аэрации толщи вод до равновесного состояния (около 100 % насыщения). Однако по многолетним наблюдаемым данным, особенно после 1999 г., насыщение вод кислородом в эти периоды было значительно ниже (до 80 % насыщения). Другими словами, доминирующее значение имеют гидродинамический и гидрологический факторы, которые оказываются важнее фотосинтеза и обмена с атмосферой.

Калининградский морской канал как соединительная артерия между заливом и рекой отражает либо превалирование влияния залива при нагонных процессах (сопровождается возрастанием солености), либо усиление влияния речных вод при стгонных процессах (сопровождается снижением солености). В первом случае несколько улучшается экологическая ситуация и скорости инвазии уменьшаются с уменьшением скоростей ивазии вплоть до перехода к процессам эвазии (в 2002 г). Во втором случае заметно ухудшаются экологические условия, приводящие к усилению процессов инвазии кислорода в канале (в 2003 г.). В остальные годы связей не просматривается.

Наиболее высокие величины инвазии за шесть лет отмечались на станциях № 24 и 27. Они расположены в черте г. Калининграда, где происходит интенсивное загрязнение вод промышленными и коммунальными стоками. В первую очередь это связано с расположением станций вблизи целлюлозно-бумажного предприятия, которое сбрасывает органику (БПК) и другие загрязняющие вещества. Необходимо также учитывать своеобразный рельеф дна в районе этих станции – здесь обнаружены «ямы» с глубиной до 17 м, с мощным слоем донных отложений, которые аккумулируют органические вещества, сбрасываемые с промышленных предприятий.

В районах переуглубления дна – «ям» – на станциях № 24 и 27 чаще всего формируется гидрологический фронт в результате конвергенции вод – солоноватых залива и пресных речных. Зоной их смешения обычно считают положение изогалины 1 ‰. В зонах смешения «объемное» поглощение существенно снижает содержание кислорода во всей толще воды, образуя зоны резкой гипоксии. Взмучивание приводит к усилению поглощения кислорода в воде почти в семь раз при одних и тех же температурных условиях [2]. Здесь играют роль два одновременно действующих фактора: нагонные и антропогенные

процессы, когда первые усиливают ситуацию «вторичного» загрязнения. Таким образом, именно здесь первыми стартуют процессы, приводящие к формированию гипоксидных зон в р. Преголе [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ пространственно-временной изменчивости скоростей обмена кислородом на границе «вода-воздух» в системе «река Преголя – Вислинский залив» показал, что экологическая ситуация ухудшается в направлении от залива до реки, особенно в ее городской черте. На этом городском участке реки в районах станций № 24 и 27 ежегодно сохраняются высокие скорости инвазии кислорода. Ямы играют, с одной стороны, роль «ловушек» загрязнителей, а с другой – являются «пусковым механизмом» ухудшения экологического состояния системы и качества воды. В результате нагонных явлений формируются гипоксидные «тромбы» в районе этих станций со специфической динамикой влияния на экологическую ситуацию системы в целом [6]. Поэтому к оценке скорости кислородного обмена в загрязненных водоемах следует подходить также с учетом специфики загрязняющих веществ.

Другими словами, здесь формируется постоянный однонаправленный поток кислорода из атмосферы в реку, т.е. река стала реципиентом атмосферного кислорода. Если принять во внимание, что человек в покое вдыхает около 280 млО₂/мин или не менее 400 л/сут. [3], то ориентировочные расчеты показывают, что 10-километровый отрезок р. Преголи поглощает в сутки столько кислорода, сколько бы хватило на дыхание более 140 тыс. жителей г. Калининграда.

Для улучшения экологической обстановки необходимо в первую очередь провести очистительные работы в районе этих «ям» с параллельным уменьшением сброса загрязненных вод в реку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александров, С.В. Первичная продукция планктона в Вислинском и Куршском заливах Балтийского моря и ее связь с рыбопродуктивностью: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.18 / С.В. Александров. – СПб., 2003. – 26 с.
2. Бреховских, В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов / В.Ф. Бреховских // АН СССР. Институт водных проблем. – М.: Наука, 1988. – 166 с.
3. Кулинский, В.И. Активные формы кислорода и оксидативная модификация макромолекул: польза, вред и защита / В.И. Кулинский // Соревский образовательный журнал. – 1999. – № 1. – С. 2-7.
4. Ляхин, Ю.И. О скорости обмена кислородом между океаном и атмосферой / Ю.И. Ляхин // Океанология. – 1978. – Т. 18 (6). – С. 1014-1021.
5. Ляхин, Ю.И. Изучение физико-химических свойств поверхностного пленочного водного слоя в связи с распространением загрязнения в деятельном слое океана и вопросы газового обмена между океаном и атмосферой / Ю.И. Ляхин / Всесоюзный научно-технический информационный центр. – М., 1980. – С. 3-96.

6. Сухорук, В.И. Гидрофизические факторы формирования гипоксидных зон в р. Преголе / В.И. Сухорук, А.Ф. Кулешов // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30 (6). – С. 718-728.

7. Сухорук, В.И. Формы фосфора и азота в водах Вислинского залива как показатели его эвтрофикации / В.И. Сухорук // Экологические проблемы Калининградской области и Балтийского региона: сб. науч. трудов. – Калининград: Изд-во КГУ, 2005. – С. 124-141.

DIRECTION OF THE OXYGEN STREAM ON BORDER «WATER-AIR»
AS HAS UNDRRESSED THE ECOLOGICAL INDICATOR OF THE STATUS
OF SYSTEM «THE RIVER PREGOLJA – THE VISTULA LAGOON»

V.I. Sukhoruk

On materials monitoring supervision under the program "Baltic" speeds of an exchange by oxygen under J.I.Ljahina's formula were estimated. Calculations were spent on 6 basis stations (two in a gulf, two rivers in a mouth and two in the river in city boundaries) with 1996 for 2003 during the periods of absence of ice. The job purpose: working off of methods and recommendations about improvement of an ecological situation in investigated area. The research problem: to reveal existential dynamics of an ecological status of system the river-gulf. Causes and effects of deterioration of an ecological status in system the river Pregolja - the Vistula Lagoon are discussed. The analysis of dynamics of speeds of an oxygen stream has allowed to draw a conclusion that the ecological situation essentially worsens in a direction from the Vistula Lagoon to the river Pregolja. Need to spend cleaning jobs in areas of redeepenings of river Pregolja bed as source of secondary pollution of the river and all system «informed water water areas».

evasion, invasion oxygen, J.I.Ljahina's method, an ecological status