

СОВРЕМЕННОЕ экологическое состояние и загрязнение Куршского и Вислинского заливов **БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

Куршский и Вислинский заливы – крупнейшие лагуны Европы, относящиеся к гипертрофным водоемам. В лагунах продолжаются процессы эвтрофирования и «гиперцветения» водорослей. Природные факторы (потепление климата, водообмен с морем) определяют уровень эвтрофирования, тогда как значение антропогенных факторов, влияющих на внешнюю биогенную нагрузку, меньше. Эпизодически наблюдается локальное загрязнение и превышение ПДК по нефтепродуктам, фосфатам, синтетическим поверхностно-активным веществам (СПАВ) в районах поступления сточных вод. «Гиперцветение» водорослей приводит к ухудшению гидрохимических показателей и замору рыб.



Введение

Куршский и Вислинский заливы Балтийского моря – крупнейшие лагунные экосистемы Европы, с отличными от моря гидрологическими и гидрхимическими режимами, специфическими биоценозами и условиями эвтрофирования. Природная особенность, определяющая функционирование экосистем обоих водоемов, заключается в отчленении их акваторий от моря узкими песчаными косами (рис. 1, 2).

Лагунные экосистемы характеризуются сложной, уязвимой экологической структурой и имеют высокую чувствительность к воздействию внешних факторов среды, в том числе связанных с изменением климата и антропогенным эвтрофированием [1]. Геоморфологические особенности водоемов в совокупности с благоприятным гидрологическим режимом, хорошей кормовой базой обуславливают существование уникального комплекса промысловой ихтиофауны, которая характеризуется высокой промысловой продуктивностью и интенсивно эксплуатируется (рис. 3, 4) [2, 3].

С.В. Александров*,
кандидат
биологических наук,
заведующий
лабораторией
гидробиологии,
ФГУП Атлантический
научно-
исследовательский
институт рыбного
хозяйства
и океанографии
(ФГУП
«АтлантНИРО»)

Рис. 1. Куршская коса и берег Куршского залива.

Вислинский и Куршский заливы относятся к важнейшим рыбохозяйственным водоемам северо-западной части России и Прибалтики.

Куршский и Вислинский заливы расположены в густонаселенных районах с развитой промышленностью, сельским хозяйством, судоходством, имеют большое рекреационное значение. Особенности управления и использования ресурсов обусловлены тем, что заливы относятся к трансграничным водоемам и интенсивно используются как Россией, так и странами Европейского союза (Литвой, Польшей).

Начиная с 1958 г. ФГУП «АтлантНИРО», проводит специальные рыбохозяйственные исследования, включающие изучение ихтиофауны и его кормовой базы (зоопланктона,

* Адрес для корреспонденции: hydrobio@mail.ru

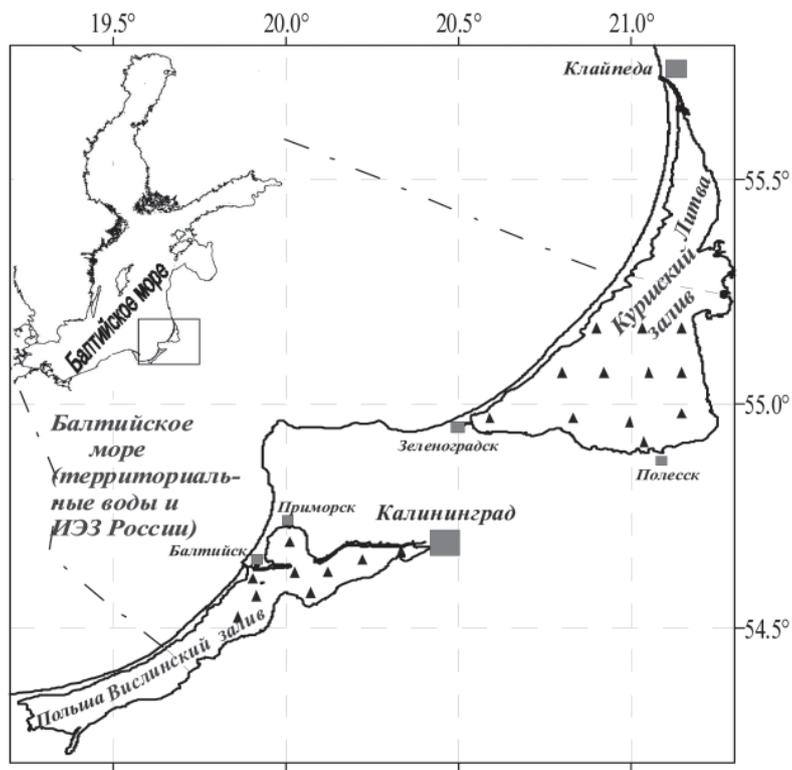


Рис. 2. Расположение станций мониторинга загрязнения и эвтрофирования вод в пределах российских акваторий Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря.



Рис. 3. Рыбацкий поселок на берегу Куршского залива.

бентоса). С 1991 по 2011 гг. в рамках комплексных исследований водных биологических ресурсов и среды их обитания ФГУП «АтлантНИРО» выполняет мониторинг загрязнения и эвтрофирования вод в пределах российских акваторий Куршского и Вислинского заливов. Многолетние регулярные комплексные гидрологические, гидрохимические, радиоэкологические, паразитологические, ихтиологические и гидробиологические

исследования позволяют целостно оценивать современное состояние и тенденции изменения экосистем Куршского и Вислинского заливов.

Материалы и методы исследования

ФГУП «АтлантНИРО», начиная с 1958 г., проводит специальные рыбохозяйственные исследования, а с 1991 по 2011 гг. - мониторинг загрязнения и эвтрофирования вод в пределах российских акваторий Куршского и Вислинского заливов. Мониторинг выполняется ежемесячно на протяжении безледного периода с марта-апреля по октябрь-ноябрь на 12 стандартных станциях в Куршском и 9 станциях в Вислинском заливах (рис. 2). Расположение станций соответствует гидрологическому и гидрохимическому делению и позволяет охватить всю российскую акваторию. Изучаются гидрологические (прозрачность воды, температура, соленость), гидрохимические (рН, кислород, БПК₅, концентрации биогенных элементов, лигносульфонатов, СПАВ, нефтепродуктов), радиоэкологические и гидробиологические (видовой состав, численность, биомасса фитопланктона и зоопланктона, первичная продукция и деструкция, концентрация хлорофилла) показатели. Гидрологические и гидрохимические показатели определяются по стандартным методикам в пробах воды из поверхностного слоя, а гидробиологические на разных горизонтах либо интегрально для столба воды [4].

Результаты и их обсуждение

Гидрохимический режим и структура биоценозов лагунных экосистем Вислинского и Куршского заливов во многом определяется особенностями гидрологического режима (речным стоком и водообменом с морем), а также мелководностью. Водоёмы существенно различаются по величине материкового стока и солености воды. Соотношение объемов речного стока и морской воды, поступающей через пролив, составляет 1:5 в солоноватоводном Вислинском заливе и 4:1 в преимущественно пресноводном Куршском заливе. По интенсивности затока морских вод и скорости водообмена Куршский залив можно отнести к лагунам «закрытого» типа, а Вислинский залив – к лагунам «полуоткрытого» типа [1, 5]. Интенсивность водообмена с морем определяет многие процессы, в частности, скорость антропогенного эвтрофирования.

Лагуны испытывают интенсивную внешнюю биогенную нагрузку с речным стоком и со сточными водами городов. На протяжении XX века на акватории Балтийского моря и водоемов его бассейна (в том числе в Вислинском и Куршском заливах) наблюдалось увеличение биогенной нагрузки. В конце 80-х годов XX века годовое поступление фосфора в Куршский залив составляло 3,7-8,5 гP/м² и азота 61-110 гN/м², в Вислинский залив – 2,8-5,2 гP/м² и 37-59 гN/м² и многократно превышало предельные нагрузки, вызывающие эвтрофирование. Уменьшение промышленного производства и применения удобрений в 1990-2000 гг. привело к снижению внешней биогенной нагрузки в 4-5 раз по фосфору и 2-3 раза по азоту. Азот, в основном, поступает с сельскохозяйственных угодий, а фосфор – со сточными водами (особенно из г. Калининград) в Вислинский залив [6, 7].

Результаты комплексных экологических исследований заливов, проводимых с 1991 г., не показывают заметного улучшения показателей эвтрофирования водоемов.

Куршский залив

Куршский залив в современный период по гидрохимическим и гидробиологическим показателям можно характеризовать как гиперэвтрофный водоем. Несмотря на снижение внешней биогенной нагрузки устойчивых тенденций уменьшения концентраций минеральных и органических форм биогенных элементов не выявлено. В летний период соотношение минеральных форм азота и фосфора (N:P<7) и концентрация фосфатов (>30-50 мкгP/л) создают условия для



Рис. 4. Малый рыболовный бот - основной тип судов в заливах.

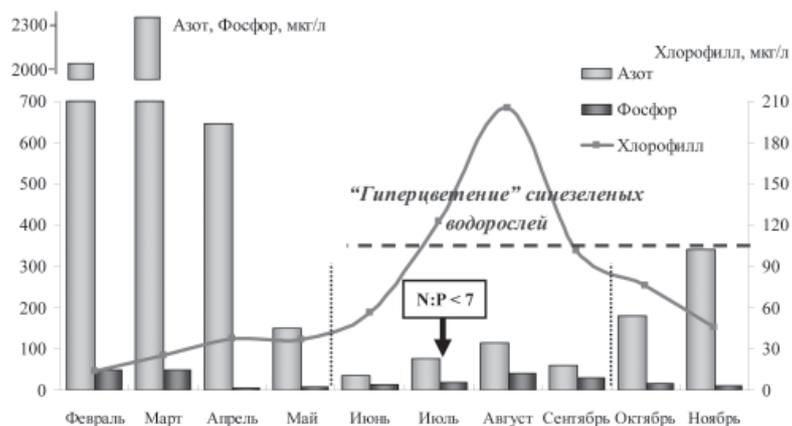


Рис. 5. Сезонные изменения концентрации минерального азота (1), фосфора (2) и хлорофилла (3) в Куршском заливе (средние за период в 2001-2010 гг.).

«гиперцветения» синезеленых водорослей (концентрация хлорофилла «а» >100 мкг/л) (рис. 5).

Из-за эвтрофных условий на протяжении года показатель содержания органических веществ (БПК₅) превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов, что свидетельствует о постоянном вторичном (органическом) загрязнении, особенно в период «гиперцветения», когда средняя для водоема величина БПК₅ в 10 раз выше ПДК. По ряду критериев эвтрофирование уже превысило допустимые нормы, однако экосистема Куршского залива обладает мощной самоочищающей способностью. Она складывается из гидрологических особенностей лагун - водообмена с морем, мелководности, ветрового перемешивания вод, проточности, что положительно сказывается, в частности, на кислородном режиме (обычно >100 % насыщения во всем столбе воды) и предотвращает деградацию экосистемы. Только в периоды «гиперцветения» синезеленых водорослей (при концентрации хлорофилла «а» выше 400-500 мг/м³) на мелководных участках в южной и центральной частях залива и прибрежных районах периодически ночью за счет минерализации избыточной биомассы водорослей формируется дефицит кислорода (<1-2 мг/л) и происходит локальный замор рыб (рис. 6, 7).

Биомасса водорослей может достигать 1200-2500 г/м³, содержание хлорофилла – 700-3400 мг/м³, а величины аммонийного азота (800-1000 мкгN/л) значительно превышать ПДК [5, 8]. Наиболее сильно эвтрофирование и «цветение» воды выражены в российской акватории (южная и центральная части залива, ≈75 % акватории), где условия исключительно благоприятны для «цветения» синезеленых водорослей: замедленный



Рис. 6. «Цветение» водорослей и замор рыб в открытой части Куршского залива.



Рис. 7. Скопление водорослей и гибель гидробионтов в прибрежной зоне Куршского залива.

водообмен ($\approx 1 \text{ год}^{-1}$), нет затока морской воды, пресноводность и сильный летний прогрев воды (до $25-26 \text{ }^\circ\text{C}$). В северной, литовской части (25 % акватории) показатели эвтрофирования ниже, так как район прилегает к морскому проливу и находится под влиянием речного стока и Балтийского моря, что препятствуют интенсивному развитию синезеленых водорослей [9].

Эвтрофирование отражается на всех трофических уровнях и, прежде всего, на низших (бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон). В фитопланктоне и зоопланктоне доминируют виды, обильное развитие которых характерно для эвтрофных вод. На протяжении всего периода регулярных исследо-

ваний Куршского залива (1981-2010 гг.) биомасса потенциально токсичных синезеленых водорослей (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*) в летний период всегда была на уровне «интенсивного цветения» ($>10 \text{ г/м}^3$), а в течение 12 сезонов достигала состояния «гиперцветения» ($>100 \text{ г/м}^3$), из них 9 отмечались после 1991 г. [5, 8, 10]. Продолжающемуся эвтрофированию способствует потепление климата. Установлена прямая зависимость между прогревом воды ($>20 \text{ }^\circ\text{C}$) и началом «гиперцветения» потенциально токсичных синезеленых водорослей [5]. Повышение температуры воды, в частности увеличение числа «теплых» лет в 1990-2000-х гг., в сочетании с рядом других факторов (пресноводность, слабая проточность, высокие концентрации биогенов при соотношении $\text{N:P} < 7$) создает условия «гиперцветения» водорослей и обуславливает продолжающееся эвтрофирование «закрытой» лагунной экосистемы Куршского залива.

По величине первичной продукции и содержанию хлорофилла в воде Куршский залив можно отнести к гиперэвтрофным водоемам, это один из самых высокопродуктивных водоемов Европы. Среднегогодовая первичная продукция ($\approx 500 \text{ гС}/(\text{м}^2\text{-год})$) в начале XXI века примерно на 60 % выше, чем в середине 1970-х годов, что свидетельствует о значительном эвтрофировании «закрытой» лагуны в условиях «цветения» водорослей. Превышение первичной продукции над деструкцией в планктоне (на 50-60 %) и замедленный водообмен ($\approx 1 \text{ год}^{-1}$) ведет к накоплению органики в воде и донных отложениях, увеличению внутренней биогенной нагрузки и дальнейшему эвтрофированию лагуны «закрытого» типа.

По микробиологическим показателям воды залива в среднем можно охарактеризовать как α -мезосапробные (в южной части как полисапробные). В зоопланктоне наблюдается увеличение числа видов, развивающихся в эвтрофных условиях. В период летнего «цветения» потенциально-токсичных видов синезеленых водорослей увеличивается число мертвых зоопланктонных организмов или имеющих аномалии (опухолевидные наросты), что, возможно, связано с воздействием альготоксинов, высокие концентрации которых (микроцистина) установлены в литовской части залива (в российской части исследования не проводились) [11, 12].

Куршский залив - важнейший рыбохозяйственный водоем. Наиболее многочисленны пресноводные виды (лещ, судак и др.), которые являются основными объектами промысла. Благодаря регулируемому рыболов-

ству с 1960-х годов сохраняются устойчивые уловы промысловых рыб на уровне 25-30 кг/га. Эвтрофирование вод отразилось на сокращении рыбопродуктивности требовательных к чистоте вод ценных видов (сига, рыба). В частности, запас сига уменьшился за последние десятилетия в 20 раз и находится в депрессивном состоянии из-за эвтрофикации залива, следствием которой является заиление нерестилищ [3]. У леща (основного промыслового объекта) выявлены морфопатологические и гистологические изменения, сходные с симптомами воздействия альготоксинов водорослей [13]. Летом при скоплении водорослей в прибрежной зоне локально формируются анаэробные условия и заморы рыб [5, 9]. На данный момент составляющая естественной смертности по этим причинам в популяциях основных промысловых видов рыб пока относительно небольшая и не оказывает существенного влияния на многолетние показатели рыбопродуктивности.

Вислинский залив

Вислинский залив по гидрохимическим и гидробиологическим показателям также можно отнести к высокоэвтрофным водоемам. В летний период соотношение минеральных форм азота и фосфора ($N:P < 7$) и концентрация фосфатов ($> 30-50$ мкгР/л) как и в Куршском заливе создают условия для «гиперцветения» синезеленых водорослей (хлорофилл «а» > 100 мкг/л) (рис. 8). Интенсивный водообмен с морем способствует выносу загрязняющих веществ и снижению биогенной нагрузки. Наибольшее содержание биогенов и загрязняющих веществ (периодически превышающее ПДК по минеральному фосфору, нефтепродуктам и СПАВ) наблюдается в восточной части залива (в районе устья р. Преголя у г. Калининград и Приморской бухте у г. Приморск), куда поступают сточные воды г. Калининград и основной речной сток с водосборной площади, а наименьшие - в районе морского пролива у г. Балтийск (рис. 2). Из-за эвтрофных условий БПК₅ в течение года превышает ПДК, хотя и в меньшей степени, чем в Куршском заливе [5]. Среднемноголетняя первичная продукция (≈ 420 гС/(м²·год)) в начале XXI века примерно на 30 % выше, чем в середине 1970-х годов, что свидетельствует о продолжающемся эвтрофировании Вислинского залива, хотя и с меньшей скоростью по сравнению с Куршским заливом [5]. Более интенсивный водообмен с морем в «полуоткрытой» лагунной экосистеме Вислинского залива способствует аутовеллингу (выносу) биогенных и органических веществ через пролив в Балтийское море, снижению внутренней биогенной нагрузки и снижению антропогенного загрязнения водоема. Первичная продукция, содержание хлорофилла и обилие фитопланктона в Вислинском заливе соответствуют эвтрофным, а в последние годы гиперэвтрофным водоемам. Однако эти показатели ниже, чем в Куршском заливе. Эвтрофирование Вислинского залива («полуоткрытой» лагуны) ниже потенциально возможного уровня, так как солоноватоводность (2-8 %) и интенсивный водообмен (≈ 9 год⁻¹) препятствует длительному «гиперцветению» пресноводных синезеленых водорослей (потенциально-токсичных видов *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, доминирующих в Куршском заливе), хотя в отдельные годы в июле-августе наблюдается кратковременное «гиперцветение» устойчивых к солоноватоводным условиям видов [5]. В данных гидрологических условиях температура воды не является ключевым фактором, определяющим «цветение» синезелеными водорослями. Как следствие, локальное потепление климата и более сильный летний прогрев воды в 1990-2000-х годах оказали меньшее влияние на первичную продуктивность и уровень эвтрофирования «полуоткрытой» лагуны (Вислинского залива). В Вислинском заливе значительно слабее выражены неблагоприятные последствия эвтрофирования. В период «цветения» не наблюдаются анаэробные условия и заморы рыб в открытой части залива, не отмечено увеличения мертвых организмов в зоопланктоне или заболеваемости промысловых рыб. Вислинский залив - важнейший рыбохозяйственный водоем, нерестилище для балтийской сельди, которая доминирует в промысле. Наиболее многочисленны пресно-

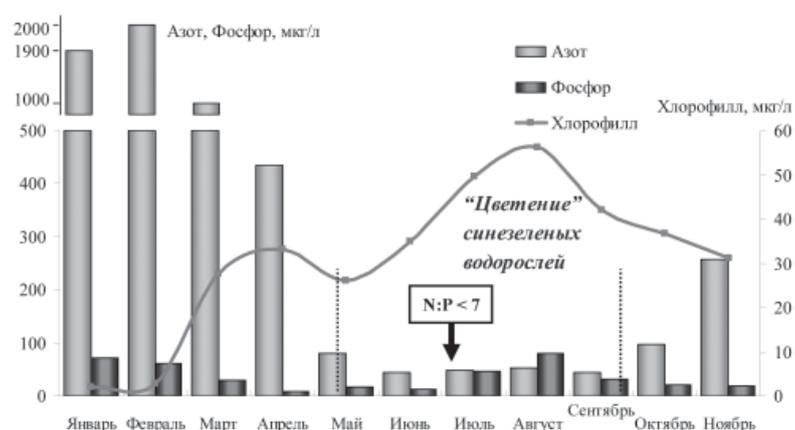


Рис. 8. Сезонные изменения концентрации минерального азота (1), фосфора (2) и хлорофилла (3) в Вислинском заливе (средние за период в 2001-10 гг.)

нинград и Приморской бухте у г. Приморск), куда поступают сточные воды г. Калининград и основной речной сток с водосборной площади, а наименьшие - в районе морского пролива у г. Балтийск (рис. 2). Из-за эвтрофных условий БПК₅ в течение года превышает ПДК, хотя и в меньшей степени, чем в Куршском заливе [5].

Среднемноголетняя первичная продукция (≈ 420 гС/(м²·год)) в начале XXI века примерно на 30 % выше, чем в середине 1970-х годов, что свидетельствует о продолжающемся эвтрофировании Вислинского залива, хотя и с меньшей скоростью по сравнению с Куршским заливом [5]. Более интенсивный водообмен с морем в «полуоткрытой» лагунной экосистеме Вислинского залива способствует аутовеллингу (выносу) биогенных и органических веществ через пролив в Балтийское море, снижению внутренней биогенной нагрузки и снижению антропогенного загрязнения водоема.

Первичная продукция, содержание хлорофилла и обилие фитопланктона в Вислинском заливе соответствуют эвтрофным, а в последние годы гиперэвтрофным водоемам. Однако эти показатели ниже, чем в Куршском заливе. Эвтрофирование Вислинского залива («полуоткрытой» лагуны) ниже потенциально возможного уровня, так как солоноватоводность (2-8 %) и интенсивный водообмен (≈ 9 год⁻¹) препятствует длительному «гиперцветению» пресноводных синезеленых водорослей (потенциально-токсичных видов *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, доминирующих в Куршском заливе), хотя в отдельные годы в июле-августе наблюдается кратковременное «гиперцветение» устойчивых к солоноватоводным условиям видов [5].

В данных гидрологических условиях температура воды не является ключевым фактором, определяющим «цветение» синезелеными водорослями. Как следствие, локальное потепление климата и более сильный летний прогрев воды в 1990-2000-х годах оказали меньшее влияние на первичную продуктивность и уровень эвтрофирования «полуоткрытой» лагуны (Вислинского залива).

В Вислинском заливе значительно слабее выражены неблагоприятные последствия эвтрофирования. В период «цветения» не наблюдаются анаэробные условия и заморы рыб в открытой части залива, не отмечено увеличения мертвых организмов в зоопланктоне или заболеваемости промысловых рыб. Вислинский залив - важнейший рыбохозяйственный водоем, нерестилище для балтийской сельди, которая доминирует в промысле. Наиболее многочисленны пресно-

водные виды (лещ, судак и др.). Благодаря регулируемому рыболовству сохраняются устойчивые уловы рыб на уровне 20 кг/га (с сельдью до 50-60 кг/га) [2].

Заключение

Куршский и Вислинский заливы Балтийского моря – крупнейшие лагуны Европы, относящиеся к гипертрофным водоемам. Они представляют собой трансграничные водоемы и интенсивно используются как Россией, так и странами Европейского союза (Литвой, Польшей). Лагуны характеризуются отличными от моря гидрологическими и гидрохимическими режимами, специфическими биоценозами и условиями эвтрофирования. В настоящее время в отличие от многих внутренних и прибрежных морских вод в Куршском и Вислинском заливах продолжаются процессы эвтрофирования и «гиперцветения» водорослей. Эпизодически наблюдается локальное загрязнение и превышение ПДК по нефтепродуктам, фосфатам, СПАВ в районах поступления сточных вод. «Гиперцветение» водорослей приводит к ухудшению гидрохимических показателей и замору рыб в Куршском заливе. Природные факторы (потепление климата, водообмен с морем) определяют уровень эвтрофирования в лагунах, тогда как значение антропогенных факторов, влияющих на внешнюю биогенную нагрузку, меньше. В гиперэвтрофных водоемах внутренняя нагрузка (за счет накопившегося фосфора и азота в донных отложениях) может превышать внешнюю, и на

Ключевые слова:
эвтрофикация,
биогены,
цветение водорослей,
Куршский
и Вислинский заливы

определенной стадии развития функционирование системы биогены - фитопланктон может уже не зависеть от их поступления извне. Поэтому маловероятно ожидать в ближайшие годы значительного снижения эвтрофирования и уменьшения неблагоприятных последствий «цветения» водорослей даже при снижении поступления биогенов с речным стоком. Важную роль также оказывает отмечаемое повышение летнего прогрева воды, которое в существующих гидрохимических условиях стимулирует «цветение» синезеленых водорослей.

Литература

1. Coastal Lagoon Processes. Oceanography Series № 60 /ed. B. Kjerfve. New York: Elsevier Science Publishers, 1994. 577 p.
2. Голубкова Т.А. Современное состояние запасов основных промысловых видов рыб в Калининградском (Вислинском) заливе Балтийского моря / Т.А. Голубкова, В.А. Рябчун // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2006-2007 годах. Т. 1. Балтийское море и заливы. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2009. С. 113-122.
3. Хлопников М.М. Куршский залив. Ихтиофауна / М.М. Хлопников, Т.А. Голубкова, Р. Репечка // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград, 2008. С. 37-54.
4. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.



5. Александров С.В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2010. 228 с.
6. Cetkauskaite A. Water-quality control, monitoring and wastewater treatment in Lithuania 1950 to 1999 / A. Cetkauskaite, D. Zarkov, L. Stoskus // *Ambio*. 2000. Vol. 30. № 4-5. P. 297-305.
7. Александров С.В. Биогенная нагрузка на Вислинский залив со стоком реки Преголя / С.В. Александров, Ю.А. Горбунова // *Вода: химия и экология*. 2010. № 1. С. 4-8.
8. Александров С.В. Первичная продукция и показатели фитопланктона как критерии евтрофирования Куршского залива Балтийского моря / С.В. Александров, О.А. Дмитриева // *Водные ресурсы*. 2006. Т. 33, № 1. С. 104-110.
9. Александров С.В. Влияние «цветения» сине-зеленых водорослей на экологическое состояние Куршского залива // *Вода: химия и экология*. 2009. № 4. С. 2-6.
10. Olenina I. Long-term changes in the Kursiu Marios lagoon: Eutrophication and phytoplankton response // *Ecologija*. 1998. № 1. P. 56-65.
11. Семенова А.С. Доля мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива как показатель качества воды // *Вода: химия и экология*. 2010. №6. С.2-7.
12. Paldaviciene A. Toxic cyanobacteria blooms in the Lithuanian part of the Curonian Lagoon / A. Paldaviciene, H. Mazur-Marzec, A. Razinkovas // *Oceanologia*. 2009. V. 51 (2). P. 203-216.
13. Chukalova N. Main results of fish disease monitoring in the Curonian Lagoon (the South East Baltic Sea) / N. Chukalova, O. Dmitrieva // *Health and diseases of aquatic organisms: Bilateral Perspectives*. Living Ocean Foundation Publication: Michigan State University. 2010. p. 24-31.



S.V. Aleksandrov

ECOLOGICAL STATEMENT OF CURONIAN AND VISTULA LAGOONS OF BALTIC SEA

Curonian and Vistula Lagoons are the largest lagoons of the Europe, relating to the hypertrophic water bodies. In the lagoons eutrophication and "hyperblooming" of Cyanobacteria continue. Natural factors (warming climate, water exchange with sea) determine the level

of eutrophication, while the influence of anthropogenic factors that determine the external nutrient load is smaller. Occasionally there is a local pollution and excess of MPC of oil, phosphates, detergents in the areas of wastewater flow. Hyperblooming of Cyanobacteria leading to the

deterioration of the water chemical parameters, and death of fish.

Key words: eutrophication, nutrients, algal blooming, Curonian and Vistula Lagoons