

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМЕРТНОСТИ ЗООПЛАНКТОНА КУРШСКОГО ЗАЛИВА В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНО ЖАРКОГО ЛЕТА 2010 г.

В 2007-2010 гг. были исследованы показатели смертности зоопланктона Куршского залива. В условиях аномально жаркого лета 2010 г. наблюдался неблагоприятный кислородный режим и массовое развитие токсичных синезеленых водорослей, что приводило к существенному возрастанию доли мертвых особей в зоопланктоне. В июле 2010 г. были зафиксированы максимальные за весь период исследований значения доли мертвых особей. На акватории Куршского залива формировались «заморные зоны» – участки с пониженной численностью, биомассой и продукцией зоопланктона, на которых были отмечены максимальные показатели его смертности. Возрастание доли мертвых особей происходило не одинаково в разных таксономических группах; одними из самых устойчивых были взрослые циклопы, но их младшие возрастные стадии оказались более чувствительными, поэтому в конечном итоге происходило снижение количественных показателей как чувствительных, так и устойчивых к «цветению» воды видов.

Введение

Факт изменения климата за последнее столетие можно считать доказанным. Данные метеорологических наблюдений свидетельствуют о том, что за последние 100 лет средняя температура поверхности Земли выросла на 0,74 °С, причем темпы ее роста увеличиваются. Вместе с тем все больше ученых поддерживают гипотезу антропогенного характера наблюдаемых изменений климата [1].

2010 г. стал в Северном полушарии Земли самым теплым за 120 лет регулярных метеорологических наблюдений, в этом году в це-

лом по полушарию была самая теплая весна и самое жаркое лето [2]. Аномально высокие летние температуры были зафиксированы как в Европе, так и на большей части России [3, 4]. По некоторым данным лето 2010 г. в Европе стало самым жарким за последние 500 лет [5]. В России в целом по стране было самое жаркое в истории лето. В мае и июле среднемесячная температура достигла абсолютного максимума, а в июне и августе заняла 2-ю строку среди экстремально высоких значений в ранжированных рядах с 1891 г. [2].

Куршский залив представляет собой крупную мелководную (площадь 1584 км², объем 6,2 км³, средняя глубина 3,8 м) пресноводную лагуну Балтийского моря, подверженную сильному антропогенному воздействию. Водоем имеет важное рыбохозяйственное и рекреационное значение. Продолжающееся эвтрофирование залива провоцирует «гиперцветения» воды при массовом развитии синезеленых водорослей, биомасса которых в отдельные годы значительно превышала уровень, обуславливающий вторичное загрязнение водоема [6]. В последнее годы повторяемость «гиперцветений» возросла [7]. В период «гиперцветения» – в июле-сентябре – в фитопланктоне в массе развиваются потенциально токсичные виды фитопланктона [8]. Рядом исследователей в воде Куршского залива были обнаружены токсины синезеленых водорослей [8-10].

Доля мертвых особей, которая является показателем смертности зоопланктона – важный индикатор, отражающий состояние экосистемы Куршского залива [11-13]. В исследованиях проводившихся на акватории Куршского залива было показано, что доля мертвых особей значительно увеличивается в момент массового развития токсичных синезеленых водорослей и после их отмирания, однако в годы, когда они проводились не от-

А.С. Семенова*,
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, ФГУП «АтлантНИРО»

*Адрес для корреспонденции: a.s.semenowa@rambler.ru

мечалось аномально высоких температур в летний период.

Целью данного исследования было изучение влияния условий экстремально теплого лета 2010 г. на изменение показателей смертности зоопланктона Куршского залива.

Материалы и методы исследования

Исследования зоопланктона Куршского залива проводили на протяжении четырех лет в 2007-2010 гг. В центральной части водоема исследования осуществляли ежемесячно с апреля по октябрь на 6 станциях стандартных наблюдений АтлантНИРО. Кроме того, в июле 2010 г. был выполнен рейс в северо-восточной части Куршского залива в районе пос. Мысовка в момент «гиперцветения» воды, вызванного массовым развитием

Ключевые слова:

Куршский залив, зоопланктон, доля мертвых особей, «цветение» воды, синезеленые водоросли, аномально жаркое лето 2010 г.

синезеленых водорослей. Пробы отбирали батометром Ван-Дорна объемом 6 л с глубин 0,5, 1,5 и 3,0 м. Для концентрации зоопланктона использовали планктонную сеть из мельничного газа №70. Сразу после отбора проб с целью дифференциации зоопланктона на живой и мертвый осуществлялось его окрашивание анилиновым голубым красителем [14-16]. Окрашивание производилось на борту судна, что исключало дополнительную гибель зоопланктона в результате транспортировки проб. После окрашивания пробы зоопланктона промывали и фиксировали по стандартной методике 4 % формалином с сахарозой [17]. Обработку проб осуществляли стандартным счетным методом [18, 19], при этом живые (неокрашенные и частично окрашенные) и мертвые (полностью окрашенные) зоопланктоны учитывались отдельно [14]. В качестве показателей смертности зоопланктона использовали долю численности или биомассы мертвых особей от суммарной численности или биомассы зоопланктона [20]. Всего за период исследования было собрано и обработано около 800 проб зоопланктона.

Результаты и их обсуждение

В период аномально жаркого лета, которое отмечалось в России и Европе в 2010 г., наблюдалось существенное возрастание температуры воды Куршского залива. В среднем за июль-август 2010 г. температура воды Куршского залива была самой высокой за более чем 50-летний период регулярных гидрометеорологических наблюдений на этом водоеме (рис. 1 а). Если судить о средней за июль-август температуре в многолетнем аспекте, то, начиная с 50-х годов прошлого века, наблюдается постепенное увеличение температуры, которая достигла своих максимальных значений в первое десятилетие 21 века (рис. 1 б), что соответствует общей тенденции потепления климата.

Такая аномально высокая температура привела к массовому развитию потенциально токсичных синезеленых водорослей до состояния «гиперцветения» воды. После массового развития происходило отмирание фитопланктона и в водоем поступало большое количество органических веществ, что приводило к его вторичному загрязнению и недостатку кислорода.

В июле 2010 г. с целью более подробного изучения влияния «гиперцветения» воды на кислородный режим водоема и показате-

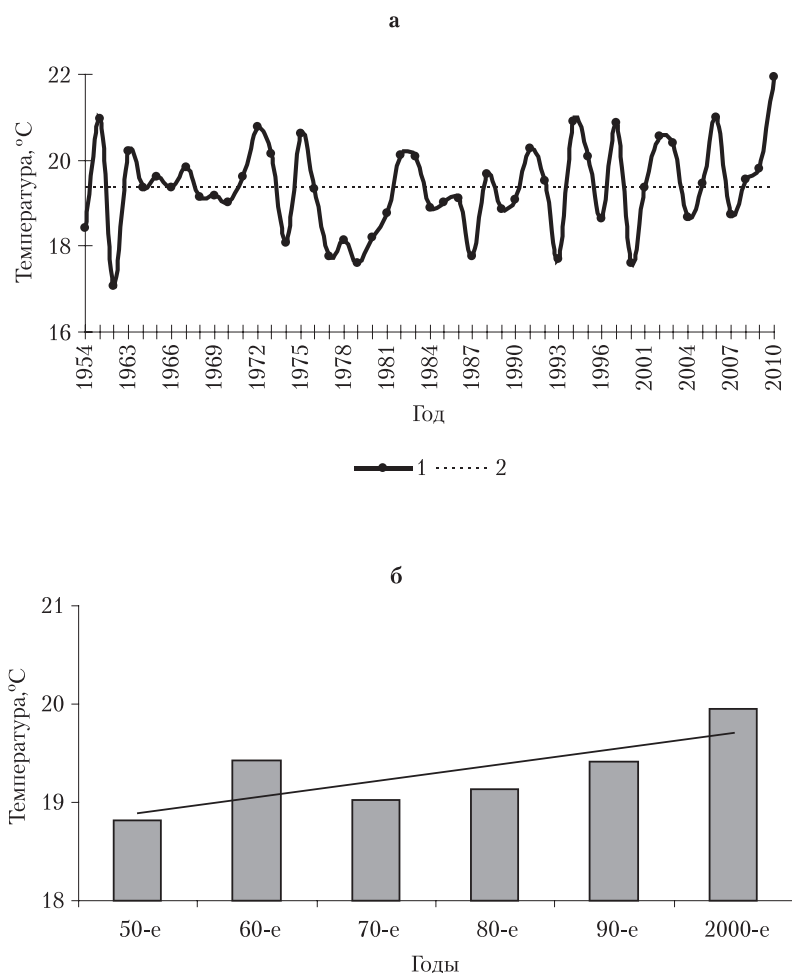


Рис. 1. Многолетняя динамика средней за июль-август температуры воды Куршского залива: а — изменения средней по годам температуры (1 — среднегодовая температура, 2 — средняя за 1954-2010 гг.); б — изменение средней по десятилетиям температуры.

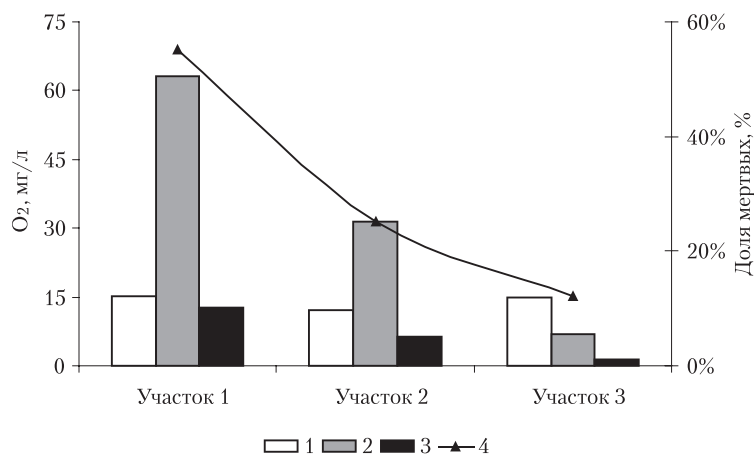


Рис. 2. Изменение содержания кислорода (мг O₂/л) (1), БПК₅ (2), БПК₁ (3) (мг O₂/л) и доли мертвых особей от численности зоопланктона (в %) (4) на участках с разной интенсивностью «гиперцветения» воды в период массового развития синезеленых водорослей.

ли смертности зоопланктона в дополнение к стандартным был проведен рейс в северо-восточной части российской зоны Куршского залива. В этом районе исследования выполнены на трех участках: на мелководном, непосредственно в зоне пятна «цветения», где также визуально было отмечено скопление мертвой рыбы (участок 1), в более глубоководной зоне на некотором удалении от пятна «цветения», где уже не отмечалось такого массового скопления фитопланктона и почти не было отмечено мертвой рыбы (участок 2) и в районе впадения в Куршский залив одного из рукавов р. Неман, где не было отмечено массовых скоплений фитопланктона и

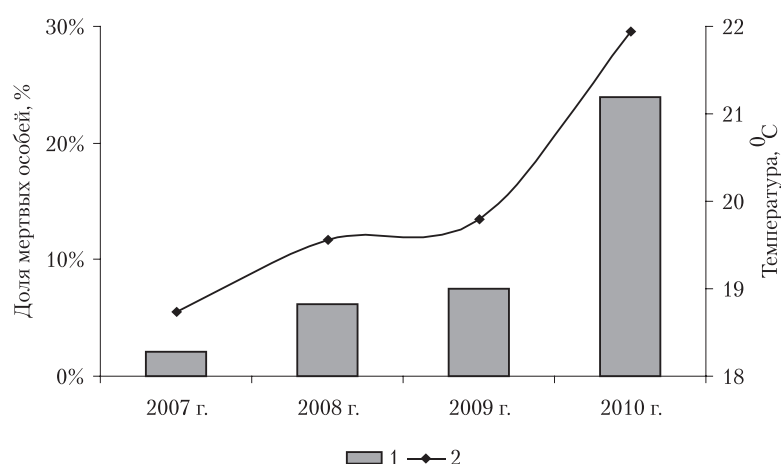


Рис. 3. Изменения доли мертвых особей от численности зоопланктона Куршского залива в июле-августе 2007-2010 гг.: 1 — доля мертвых особей в зоопланктоне, 2 — средняя за июль-август температура воды.

мертвой рыбы (участок 3). Кислородный режим на всех исследованных участках находился в удовлетворительном состоянии, основные различия между участками были в содержании органических веществ, что отражает такой показатель как биохимическое потребление кислорода за 1 (БПК₁) и 5 сут (БПК₅) (рис. 2).

БПК было максимальным на участке 1 и достигало значений, близких к наблюдаемым в сточных водах, на участке 2 оно было в 2 раза ниже, а на участке 3 — в 9 раз ниже, чем на участке 1. Если рассматривать показатель БПК₁ в зоне пятна «цветения», то можно отметить, что он сопоставим с содержанием кислорода в этой зоне, таким образом за сутки может потребляться весь кислород и создаются бескислородные условия, губельные для всего живого. Скорее всего, это происходит в предутренние часы. Аналогичные условия наблюдались локально в прибрежной зоне Куршского залива в 2002 г., когда при нагонных ветрах в прибрежной зоне скапливался и массово отмирал фитопланктон, что приводило к полному отсутствию кислорода и заморам рыб [6]. Однако в 2010 г. такие условия наблюдались уже не локально в прибрежье, а на довольно обширном участке акватории Куршского залива, на котором активно ведется промысел.

Доля мертвых особей в зоопланктоне также была максимальной на участке 1, где отмечалось пятно «цветения», составляя в самом центре пятна «цветения» 65 %, а на его краю 48 %. На участке 2 доля мертвых особей была значительно ниже, минимальных значений достигая на участке 3, в районе впадения р. Неман. Таким образом, показатели смертности зоопланктона были наибольшими на участке с максимальным развитием потенциально токсичных синезеленых водорослей, на котором в ночной период могут наблюдаться бескислородные условия и отмечен замор рыб, минимальны показатели смертности зоопланктона были в районе влияния р. Неман, где не отмечалось столь массового развития синезеленых водорослей, а также наблюдался более благоприятный кислородный режим.

В целом на российской части акватории Куршского залива в июле-августе 2010 г. доля мертвых особей в зоопланктоне была максимальной за все годы исследований, при этом четко прослеживается зависимость доли мертвых особей от температуры воды в эти месяцы (рис. 3). В среднем за вегетационный период 2010 г. по сравнению с други-

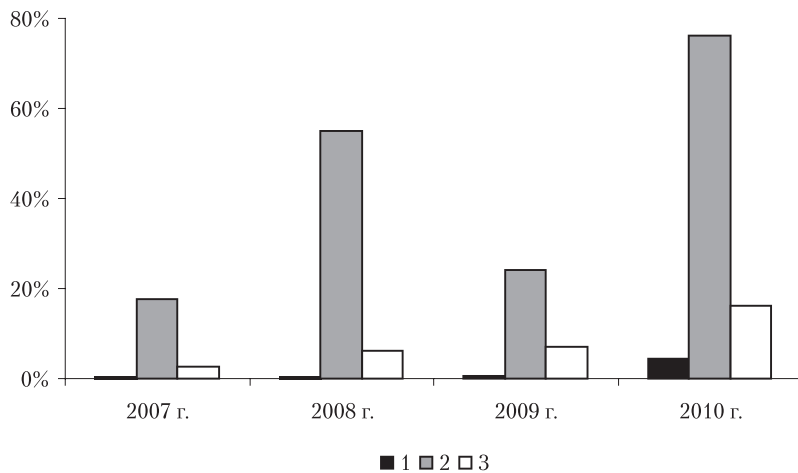


Рис. 4. Межгодовые изменения минимальной (1), максимальной (2) и средней за вегетационный период (3) доли мертвых особей от численности зоопланктона Куршского залива.

ми годами исследований также наблюдались максимальные значения доли мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива (рис. 4). В июле 2010 г. на станции, расположенной в западной части акватории Куршского залива, были зафиксированы максимальные за весь период исследований значения доли мертвых особей от численности и биомассы зоопланктона — 76,2 % и 62,0 %, соответственно; ранее максимальная зафиксированная за 2007-2009 гг. доля мертвых особей составляла 47,8 % [13].

Массовое скопление и последующее отмирание фитопланктона, доминирующие виды которого являются токсичными или потенциально токсичными, приводит к ухудшению кислородного режима Куршского залива, массовой гибели зоопланктона и возникновению так называемых «заморных зон» — участков, на которых отмечается пониженная биомасса и продукция зоопланктона. Особенно ярко это явление было выражено в июле-августе 2010 г. В этот период на обширной акватории в западной части Куршского залива, примыкающей к национальному парку «Куршская коса», отмечалась высокая доля мертвых особей от численности и биомассы зоопланктона, которая была в 3-4 раза выше, чем на оставшейся части акватории. На этом же участке наблюдались минимальные значения численности, биомассы и продукции зоопланктона, при этом численность и биомасса зоопланктона были в 2-3 раза ниже, а продукция в 5-6 раз ниже, чем на остальной части Куршского залива (рис. 5).

В момент массового развития токсичных синезеленых водорослей доля мертвых осо-

бей возрастает не одинаково как среди отдельных видов, так и среди таксономических групп зоопланктона Куршского залива. Наиболее чувствительными к влиянию «цветения» воды являются крупные ветвистоусые ракообразные из р. *Daphnia*, некоторые виды мелкоразмерных коловраток, науплии веслоногих ракообразных, более устойчивы мелкоразмерные ветвистоусые ракообразные и каляниды, наиболее устойчивы некоторые виды коловраток, особенно хищные, и циклопы [13]. В 2010 г. доля наиболее чувствительных к «цветению» воды видов снижалась с 76-87 % в мае-июне до 7-39 % в июле-августе, в то же время отмечалось возрастание доли среднеустойчивых и устойчивых видов от численности и биомассы зоопланктона.

Согласно прогнозам потепление в Северном полушарии (в Европе и Северной Америке) будет наблюдаться в летний период за счет увеличения дневных температур [21], при этом аномально жаркие условия будут регистрироваться все чаще и будут все продолжительнее по времени [22]. По результатам 11 климатических моделей было показано, что вероятность повторения экстремально жаркого лета 2010 г. больше всего на западе и востоке (северо-запад России, отчасти — страны Балтии) Европы [5]. Потепление климата в большей степени влияет на внутренние воды, чем на океаны [21]. Таким образом, оно должно в первую очередь сказаться именно на внутренних водоемах Европы, к которым относится и Куршский залив.

Массовое развитие синезеленых водорослей, которое отмечается в Куршском заливе, угрожает его экосистеме и оказывает влияние на все ее компоненты. Последствия массового развития токсичных синезеленых водорослей, такие как отравление и гибель водных беспозвоночных, рыб, птиц, зверей и даже людей были зафиксированы как в Прибалтийских странах, так и в других регионах мира [23-30]. Рядом авторов было показано, что темп роста и интенсивность фотосинтеза синезеленых водорослей, и в частности родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis* и *Oscillatoria*, формирующих основу фитопланктона в момент «цветения», напрямую зависит от температуры воды [24, 31]. При повышении температуры преимущество получают токсичные формы фитопланктона, к тому же при более высокой температуре наблюдается максимальная продукция токсинов [32-36]. Вследствие этого

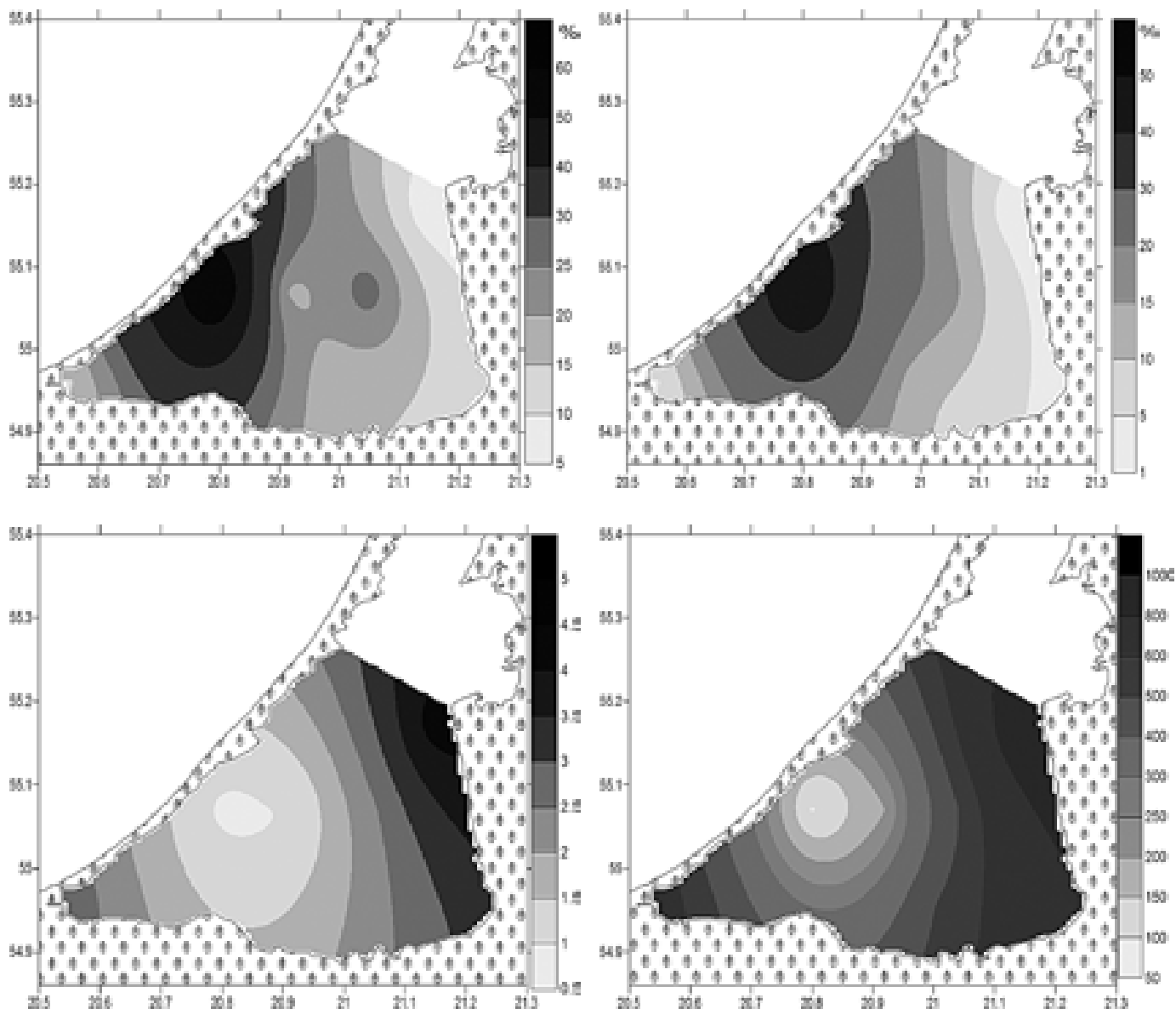


Рис. 5. Пространственное распределение доли мертвых особей от численности (а) и биомассы (б) зоопланктона, биомасса, в г/м³ (в) и продукция, в кал/м³ (г) зоопланктона Куршского залива в июле-августе 2010 г.

изменение климата в сторону его потепления может привести к повышению угрозы вредоносных цветений воды при массовом развитии синезеленых водорослей, что приводит к гибели живых организмов [37-39].

В 2001-09 гг. средняя за лето температура воды колебалась в пределах 17,4-19,8 °С, а в 2010 г. составляла 20,7 °С. В Куршском заливе наибольший вклад цианобактерий (до 82 %) в суммарную биомассу фитопланктона отмечался в годы, когда средняя температура воды за лето превышала 19 °С [8]. За последнее время одним из годов, когда на акватории Куршского залива отмечались высокие температуры воды в летний период, был 2002 г., когда летом наблюдалось массовое

развитие синезеленых водорослей, которые локально скапливались в прибрежной зоне, где было зафиксировано полное отсутствие кислорода и заморы рыб [6].

В 2010 г. на акватории Куршского залива наблюдался еще больший, нежели в 2002 г., прогрев воды и вследствие этого создавались еще более экстремальные условия. Было отмечено массовое развитие токсичных и потенциально токсичных синезеленых водорослей, повышенное содержание органических веществ, в результате разложения которых могло происходить значительное ухудшение кислородного режима водоема, вплоть до полного отсутствия кислорода, что создавало крайне неблагоприятные условия

для существования гидробионтов. Наблюдалась гибель рыбы, а также значительное возрастание показателей смертности зоопланктона. Доля мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива в июле-августе 2010 г. достигала своих максимальных за весь период исследований величин, что является следствием нескольких причин. Пусковым механизмом этого явления стала экстремально высокая температура воздуха, которая привела к значительному увеличению температуры воды Куршского залива. Это, в свою очередь, явилось причиной массового развития синезеленых водорослей, переходящего в «гиперцветение» воды. При массовом развитии синезеленых водорослей и их отмирании происходило попадание в воду залива как их токсинов, так и избытка органических веществ, ухудшение газового режима водоема вплоть до полного отсутствия кислорода. Таким образом, причиной массовой гибели зоопланктона и рыб стало, во-первых, ухудшение кислородного режима и, во-вторых, влияние токсинов синезеленых водорослей.

В июле-августе 2010 г. на части акватории залива формировались так называемые «заморные зоны» — участки с большой долей мертвых особей (до 76 %) и пониженной численностью, биомассой и продукцией зоопланктона. Биомасса и продукция на этих участках была характерна для олиготрофных вод, т.е. была на крайне низком уровне, в результате создавались напряженные трофические условия для рыб-планктофагов и молоди рыб, которые, в основном, питаются зоопланктоном. Подобные «заморные зоны» формировались в Кременчугском вдхр. при массовом развитии синезеленых водорослей [40]. Участки, на которых были отмечены наибольшие относительные показатели смертности зоопланктона, являются зонами стагнации, т.е. в них наблюдается минимальная проточность, а грунты представлены илами [41].

Влияние условий аномально теплого лета 2010 г. на водные экосистемы и, в частности, на планктонные сообщества было отмечено и другими авторами [42], но при этом не рассматривалось влияние высоких температур на показатели смертности зоопланктона.

Доля мертвых особей возрастает не одинаково в разных таксономических группах зоопланктона, что связано с их большей или меньшей устойчивостью к влиянию токсичных водорослей и бескислородным условиям [13, 43]. В результате в момент массового развития токсичных водорослей в июле-августе 2010 г. наблюдалось снижение численности и биомассы наиболее чувствительных видов и увеличение доли устойчивых и среднеустойчивых видов. Наиболее устойчивыми как к бескислородным условиям, так и к влиянию токсинов синезеленых водорослей являются циклопы, которые должны за счет этого получать значительное преимущество по сравнению с другими группами зоопланктона, однако этого не

происходило в полной мере. Вслед за вспышкой развития циклопов в момент массового развития синезеленых водорослей в июле-августе 2010 г., их численность и биомасса резко снижались. Это происходит из-за того, что на младших возрастных стадиях циклопы более чувствительны как к недостатку кислорода, так и к влиянию токсинов, что в конечном итоге не дало этой таксономической группе занять доминирующее положение.

Заключение

В летний период (в июле-августе) 2010 г. вследствие аномально высоких температур воздуха наблюдалось существенное возрастание температуры воды Куршского залива, которая была самой высокой за более чем 50-летний период регулярных гидрометеорологических наблюдений на этом водоеме. Такая аномально высокая температура привела к еще более массовому, чем в предыдущие годы, развитию токсичных и потенциально токсичных синезеленых водорослей до состояния «гиперцветения» воды. После массового развития происходило отмирание фитопланктона и в водоем поступало большое количество органических веществ, наблюдалось его вторичное загрязнение и недостаток кислорода. Все это привело к значительному возрастанию доли мертвых особей, в июле-августе 2010 г. средняя по заливу доля мертвых особей в зоопланктоне была максимальной за все годы исследований, в июле 2010 г. были зафиксированы максимальные за весь период исследований абсолютные значения доли мертвых особей. На обширной акватории в западной части Куршского залива, примыкающей к национальному парку «Куршская коса», формировались так называемые «заморные зоны» — участки, на которых отмечались максимальные показатели смертности зоопланктона, и были значительно понижены численность, биомасса и продукция зоопланктона. Максимальные доли мертвых особей были зафиксированы в зонах стагнации, где, вероятно, может наблюдаться полное отсутствие кислорода; отмечено повышенное содержание органических веществ и были визуально зафиксированы заморы рыб; минимальные доли мертвых особей были отмечены на проточных участках, на которых сказывается влияние рек Неман и Дейма с благоприятным кислородным режимом, более низким содержанием органических веществ, на которых не было отмечено заморы рыбы. Возрастание доли мертвых особей происходило не одинаково в разных таксономических группах, поэтому в июле-августе 2010 г. значительно снижалась доля чувствительных к влиянию токсичных водорослей и недостатку кислорода видов, и возрастала доля среднеустойчивых и устойчивых видов. Одними из самых устойчивых являются взрослые циклопы, но в цикле их развития имеются уязвимые места, в частности, на науплиаль-

ных и младших копепоидитные стадиях циклопы более подвержены воздействию токсинов и чувствительны к недостатку кислорода, поэтому в конечном итоге происходило снижение количественных показателей как чувствительных, так и устойчивых к «цветению» видов.

Литература

1. Climate Change 2007: Synthesis Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland, 2007. 104 p.
2. Бирман Б. А. Основные погодно-климатические особенности Северного полушария Земли. 2010 г. / Б. А. Бирман, Т. В. Бережная // Аналитический обзор. М.: ГУ ГМЦ РФ. 2011. 60 с.
3. Hansen J. Global surface temperature change / J. Hansen, R. Ruedy, M. Sato, K. Lo // *Reviews of Geophysics*. 2010. V. 48. P. 1–29.
4. Dole R. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? / R. Dole, M. Hoerling, J. Perlwitz, J. Eischeid, P. Pegion, T. Zhang, X. W. Quan, T. Xu, D. Murray // *Geophys. Res. Lett.* 2011. V. 38. P. 1–5.
5. Barriopedro D. The Hot Summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe / D. Barriopedro, E. M. Fischer, J. Luterbacher, R. M. Trigo, R. Garcia-Herrera // *Science*. 2011. V. 332. № 6026. P. 220–224.
6. Александров С. В. Первичная продукция и показатели фитопланктона как критерии эвтрофирования Куршского залива Балтийского моря / С. В. Александров, О. А. Дмитриева // *Вод. ресурсы*. 2006. Т. 33. № 1. С. 104–110.
7. Александров С. В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград: АтлантНИРО, 2010. 228 с.
8. Белых О. И. Идентификация токсигенных цианобактерий рода *Microcystis* в Куршском заливе Балтийского моря / О. И. Белых, О. А. Дмитриева, А. С. Гладких, Е. Г. Сороковикова // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 1. С. 78–87.
9. Кармайкл В. В. Циклические пептидные гепатотоксины из пресноводных цианобактерий (синезеленых водорослей), собранных в цветущих водоемах Украины и европейской части России / В. В. Кармайкл, В. М. Чернаенко, И. Эванс // *ДАН*. 1993. Т. 330. № 5. С. 659–661.
10. Paldavičiene A. Toxic cyanobacteria blooms in the Lithuanian part of the Curonian Lagoon / A. Paldavičiene, H. Mazur-Marzec, A. Razinkovas // *Oceanologia*. 2009. V. 51 (2). P. 203–216.
11. Семенова А. С. Изменение показателей зоопланктона Куршского залива в период «гиперцветения» синезеленых водорослей // *Вода: химия и экология*. 2009. № 9. С. 2–6.
12. Семенова А. С. Доля мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива как показатель качества воды // *Вода: химия и экология*. 2010. № 6. С. 2–7.
13. Семенова А. С. Доля мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива Балтийского моря // *Биология внутренних вод*. 2011. № 3. С. 35–44.
14. Дубовская О. П. Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения // *Журнал Сибирского Федерального университета. Сер. Биология*. 2008. № 2. С. 145–161.
15. Seepersad B. Use of aniline blue for distinguishing between live and dead freshwater zooplankton / B. Seepersad, R. W. Crippen // *J. Fish. Res. Board Canada*. 1978. V. 35. № 10. P. 1363–1366.
16. Bickel S. L. Use of aniline blue to distinguish live and dead crustacean zooplankton composition in freshwaters / S. L. Bickel, K. W. Tang, H. P. Grossart // *Freshwater Biol.* 2008. V. 54. № 5. P. 971–981.
17. Haney J. F. Sugar-coated *Daphnia*: A preservation technique for Cladocera / J. F. Haney, D. J. Hall // *Limnol. Oceanog.* 1973. V. 18. № 2. P. 331–333.
18. Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. М.: Наука, 1969. Т. 1. 657 с.
19. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, 1984. 33 с.
20. Дубовская О. П. Сезонная динамика численности живых и мертвых особей зоопланктона в небольшом пруду и некоторые варианты оценки смертности / О. П. Дубовская, М. И. Гладышев, В. Г. Губанов // *Журнал общей биологии*. 1999. Т. 60. № 5. С. 543–555.
21. Christensen J. H. Regional climate projections. / J. H. Christensen, B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held et al. // *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Eds S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller), Cambridge University Press, Cambridge, 2007. U.K. P. 847–940.
22. Meehl G. A. Global climate projections / G. A. Meehl, T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory et al. // *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Eds S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller), Cambridge University Press, Cambridge, 2007. U.K. P. 747–845.
23. Falconer I. R. Algal toxins and human health // *The handbook of environmental chemistry*, J. HRUBEC, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 5 Part C Quality and treatment of drinking water II. Berlin, 1998. P. 53–82.
24. Chorus I. Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management / I. Chorus, J. Bartram. L.; N.Y.: E & FN Spon, 1999. 400 p.
25. Briand J-F. Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems / J-F. Briand, S. Jacquet, C. Bernard, J-F. Humbert // *Vet. Res.* 2003. V. 34. P. 361–377.

26. Sigee D.C. Freshwater microbiology: biodiversity and dynamics interactions of microorganisms in the freshwater environment. Chichester: Wiley, 2005. 524 p.
27. Stewart I. Cyanobacterial poisoning in livestock, wild mammals and birds – an overview / I. Stewart, A.A. Seawright, G.R. Shaw // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2008. V. 619. P. 613–637.
28. Vasconcelos V. Eutrophication, toxic cyanobacteria and cyanotoxins: when ecosystems cry for help // *Limnetica*. 2006. V. 25. № 1–2. P. 425–432.
29. Mancini M. Cyanobacterial bloom and animal mass mortality in a reservoir from Central Argentina / M. Mancini, C. Rodriguez, G. Bagnis, A. Liendo, C. Prosperi, M. Bonansea, J.G. Tundisi // *Braz. J. Biol.* 2010. V. 70. № 3. P. 841–845.
30. Ferrão-Filho A.S. Cyanotoxins: bioaccumulation and effects on aquatic animals / A.S. Ferrão-Filho, B. Kozłowski-Suzuki // *Marine Drugs*, 2011. № 9., P. 2729–2772.
- Robarts R.D. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria / R.D. Robarts, T. Zohary // *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 1987. V. 21. P. 391–399.
31. Van der Westhuizen A.J. Effect of temperature and light on the toxicity and growth of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* (UV-006) / A.J. Van der Westhuizen, J.N. Eloff // *Planta*. 1985. V. 163. P. 55–59.
32. Rapala J. Anatoxin_a concentration in *Anabaena* and *Aphanizomenon* under different environmental conditions and comparison of growth by toxic and non-toxic *Anabaena* strains, a laboratory study / J. Rapala, K. Sivonen, R. Luukkainen, S.I. Niemela // *J. Appl. Phycol.* 1993. V. 5. P. 581–591.
33. Davis T.W. The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms / T.W. Davis, D.L. Berry, G.L. Boyer, C.J. Gobler // *Harmful Algae*. 2009. Vol. 8. P. 715–725.
34. Delpla I. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production / I. Delpla, A. – V. Jung, E. Baures, M. Clement, O. Thomas // *Environment International*. 2009. V. 35. P. 1225–1233.
35. O’Neil J.M. The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change / J.M. O’Neil, T.W. Davis, M.A. Burford, C.J. Gobler // *Harmful Algae*. 2012. V. 14. P. 313–334.
36. Jöhnk K.D. Summer heat waves promote blooms of harmful cyanobacteria / K.D. Jöhnk, J. Huisman, J. Sharples, B. Sommeijer, P.M. Visser, J.M. Stroom // *Global Change Biology*. 2008. V. 14. № 3. P. 495–512.
37. Paul V.J. «Global warming and cyanobacterial harmful algal blooms» / Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2008. V. 619. P. 239–257.
38. Paerl H.W., Huisman J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms / H.W. Paerl, J. Huisman // *Environmental Microbiology Reports*. 2009. V. 1. № 1. P. 27–37.
39. Брагинский Л. П. «Пятна цветения», нагонные массы, выбросы синезеленых водорослей и происходящие в них биологические процессы / Л. П. Брагинский и др. // «Цветение» воды. Сб.ст. Киев: Наукова Думка, 1968. С. 92–149.
40. Ferrarin C. Hydraulic regime-based zonation scheme of the Curonian Lagoon / C. Ferrarin, A. Razinkovas, S. Gulbinskas, G. Umgieser, L. Bliudziute // *Hydrobiologia*. 2008. V. 611. P. 133–146.
41. Kopylov A.I. Influence of anomalous high water temperatures on the development of the plankton community in the Middle Volga reservoirs in summer 2010 / A.I. Kopylov, V.I. Lazareva, N.M. Mineeva, T.S. Maslennikova, Y.V. Stroinov // *Dokl. Biol. Sci.* 2012. V. 442. № 1. P. 133–135.
42. Семенова А. С. «Цветение» синезеленых водорослей как одна из причин повышения смертности зоопланктона Куршского залива Балтийского моря / А. С. Семенова, О. А. Дмитриева // *Бюллетень МОИП. Отдел Биологический*. 2010. Т. 118. № 6. С. 32–38.

A.S. Semenova

CHANGE OF ZOOPLANKTON DEATH RATE IN THE CURONIAN LAGOON UNDER CONDITIONS OF THE RUSSIAN HEAT WAVE IN 2010

Zooplankton death rate in the Curonian lagoon was studied in 2007-2010. It was shown that unfavourable oxygen conditions and explosive development of cyanobacteria occurred in the Russian heat wave in 2010 that led to strong growth of zooplankton death rate. Maximum death rates for all time were detected in July 2010. «Dead zones» in the Curonian Lagoon were detected. These zones of the Curonian lagoon were characterized by decreased zooplankton population, biomass and productivity. A growth of death rate varied for different taxonomic groups. Some of the most withstanding were adult cyclops but their more young stages were more sensitive.

Key words: the Curonian Lagoon, zooplankton, rate of dead individuals, water bloom, Cyanophyta, 2010 Russian heat wave.