

УДК 504.064.36:574

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООПЛАНКТОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕК КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2014 А.С. Семенова

Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, г. Калининград (Россия)

Поступила 12.12.2013

В результате исследований ряда крупнейших рек Калининградской области были выявлены наиболее информативные структурные показатели зоопланктона, отражающие изменение органической и биогенной нагрузки на данные водоемы. Согласно структурным показателям зоопланктона качество воды ухудшается, а трофический статус увеличивается в ряду: реки Шешупе и Анграпа → р. Приморская → р. Преголя → р. Дейма → р. Неман. Качество воды в реках ухудшается при движении от истока к устью. В целом, все изученные реки находятся в неблагоприятном состоянии, при этом наиболее загрязнены и эвтрофированы реки Дейма, Преголя и Неман, что подтверждается большинством показателей зоопланктона. К наиболее информативным показателям, отражающим трофический статус и качество воды исследованных водоемов, относятся показатель и коэффициент трофии, а также доля мертвых особей в зоопланктоне. Другие структурные показатели зоопланктона менее информативны, но при рассмотрении их в комплексе, сравнении между собой показателей для разных рек, полученных в один временной промежуток, а также рассмотрении их сезонной и межгодовой динамике, более тонко отражают структурные изменения, происходящие в сообществе зоопланктона вследствие загрязнения и эвтрофирования, поэтому при экологическом мониторинге лучше использовать все вышеназванные показатели для наиболее полной и грамотной оценки состояния исследуемых водоемов.

Ключевые слова: зоопланктон, реки Калининградской области, качество воды.

Semenova A.S. Use of zooplankton's indicators for estimating of water quality in rivers Kaliningrad region – Summary. As a result of studies of several major rivers Kaliningrad region the most informative structural indicators of zooplankton, reflecting changes in the organic and nutrient load data reservoirs were found. According to the structural indicators of zooplankton water quality decreased and trophic status increased in the line: rivers Sheshupe and Angrapa → r. Primorskaya → r. Pregolya → r. Deima → r. Neman. Water quality in rivers worsens when moving from the springhead to the mouth. In general, all the studied rivers are in unfavorable condition, the most polluted and eutrophic, as evidenced by the majority of indicators of zooplankton were rivers Deima, Pregolya and Neman. The most informative indicators of the trophic status and water quality were coefficient of trophy (E) and index of trophy (E/O), as well as the proportion of dead individuals in zooplankton. Other structural indicators of zooplankton are less informative, but when considered in combination, compared with each other indicators for different rivers, obtained in one time period, as well as consideration of their

Семенова Анна Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, a.s.semenowa@rambler.ru.

seasonal and interannual dynamics, more subtly reflect structural changes in the zooplankton community as a result of pollution and eutrophication, so in environmental monitoring is better to use all of this indicators for the most complete and correct assessment of the studied reservoirs.

Key words: indicators of zooplankton, river of Kaliningrad region, water quality.

Индикаторная роль зоопланктона в процессах загрязнения и эвтрофирования водоемов показана в ряде работ отечественных и зарубежных ученых, и в современный период разработана система показателей этого сообщества, которые могут быть использованы при диагностике трофического статуса водоема (Андроникова, 1996).

Целью настоящей работы была оценка состояния рек Калининградской области по показателям зоопланктона.

Исследования зоопланктона проводили в реках Неман, Дейма, Анграпа, Шешупе и Приморская в 2008 г. на протяжении вегетационного периода (с марта по ноябрь-декабрь), а также в реках Дейма и Преголя в весенне-летний период 2013 г. (табл. 1). Изучение показателей зоопланктона в 2013 г. проводили на 12 станциях: ст. 1 – устье реки Дейма; ст. 2 – центр г. Полесска; ст. 3 – расположена у пос. Шолохово, в 7 км, выше г. Полесска; ст. 5 – расположена в районе поселка Славинск; ст. 7 – расположена в поселке Забарье, 2 км ниже Гвардейска; ст. 8 – расположена в центре Гвардейска; ст. 9 – расположена в 1 км ниже г. Гвардейска; ст. 11 – близ поселка Сокольники; ст. 13 – район поселка Славянское; ст. 14 – расположена на границе города, у «Берлинского моста», в 500 м выше места, где происходит забор питьевой воды из реки Преголя для первой южной городской водоочистной станции (ЮВС-1); ст. 15 – расположена на Старой Преголе на расстоянии 1 км ниже по течению от места забора питьевой воды из р. Преголя для второй южной городской водоочистной станции (ЮВС-2); ст. 16 – расположена перед двухъярусным мостом, напротив научно-исследовательского судна «Витязь» (рис. 1).

Для концентрации зоопланктона использовали планктонную сеть с размером ячеи 64 мкм. Пробы зоопланктона фиксировали 4%-ным формалином с сахарозой. В 2013 г. после отбора проб с целью дифференциации зоопланктона на живой и мертвый осуществлялось его окрашивание анилиновым голубым красителем (Seepersad, Stirpen, 1978; Дубовская, 2008; Vickel et al., 2008). Окрашивание производилось сразу после отбора проб, что исключало дополнительную гибель зоопланктеров в результате транспортировки проб. После окрашивания пробы зоопланктона промывали и фиксировали по стандартной методике. Камеральную обработку проб проводили стандартным методом, биомассу рассчитывали по размерной структуре и численности видов (Методические рекомендации..., 1984). Обработку окрашенных проб также осуществляли стандартным счетным методом, при этом живые (неокрашенные и частично окрашенные) и мертвые (полностью окрашенные) зоопланктеры учитывались отдельно (Дубовская, 2008).

Для оценки качества воды и степени эвтрофирования рек были использованы следующие показатели зоопланктона: показатель трофии (E/O), ко-

эффицент трофии (E), соотношение числа видов *Brachionus* и *Trichocerca* ($Q_{B/T}$), число структурообразующих видов по численности и биомассе (n_N и n_B), отношение численности Cladocera к численности Copepoda ($N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$), биомассы Cyclozoidea к биомассе Calanoida (B_{Cycl}/B_{Cal}), соотношение численности и биомассы таксономических групп ($N_{Rot:Clad:Cop}$; $B_{Rot:Clad:Cop}$), средняя численность (N) и биомасса (B), индекс Шеннона, рассчитанный по численности (H_N) и по биомассе (H_B) (Андроникова, 1996), а также индекс сапробности (ИС) рассчитанный по методу Пантле и Бука в модификации Сладечека (Sladec̆es, 1973).

Таблица 1

Краткая характеристика изученных рек

Река	Характеристика реки	Длина, км	Площадь бассейна, км ²	Глубина, м	Скорость течения, м/с	Расход воды, м ³ /с
Неман	большая	937 (115)	98200	1,5-4,0	0,5-1,0	678,0
Шешупе	средняя	308(62)	6120	0,4-3,5	0,2-0,7	33,2
Преголя	малая	123	15500	0,2-3,0	0,2-0,8	90
Анграпа	малая	172 (120)	3960	0,2-3,0	0,2-0,6	14,5
Дейма	малая	37	337,5	2,0-4,0	0,1-0,5	-
Приморская	самая малая	15	126	0,2-1,5	0,1-0,3	-

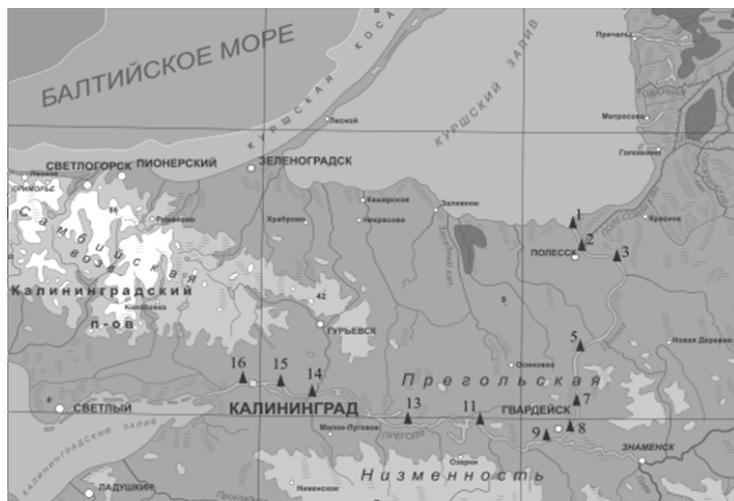


Рис. 1. Схема станций отбора проб на реках Дейма и Преголя

Несмотря на то, что в 2008 г. изучение зоопланктона производили на протяжении всего вегетационного периода, для сравнения и подробного анализа были использованы данные по количественному развитию зоопланктона в летний период, так как именно в это время во всех изученных реках зоопланктон достигал своего максимального развития и был представлен

максимальным числом видов и таксономических групп.

В изученных реках в летний период было встречено от 10 до 21 вида (табл. 2), большая их часть принадлежала к типу Rotifera. Число структурообразующих видов по численности и биомассе было минимально 4-6, что характерно для мезо-эвтрофных вод (Андроникова, 1996). В реках Шешупе и Анграпа наблюдался сходный комплекс доминирующих видов, в который входили *Rotaria neptunia*, *Chydorus sphaericus*, младшие возрастные стадии

Cyclopoida. Кроме того, в р. Шешупе массового развития достигал *Mesocyclops leuckarti*, а в р. Анграпа – *Brachionus calyciflorus*. В реке Приморской доминировали *Lecane luna*, *Trichocerca capucina*, *Chydorus sphaericus*, *Eubosmina coregoni*, *Acanthocyclops vernalis* и младшие возрастные стадии Cyclopoida. В реке Дейма в состав комплекса доминирующих видов входили *Brachionus angularis*, *B. calyciflorus*, *Keratella cochlearis tecta*, *Trichocerca capucina*, младшие возрастные стадии Cyclopoida. В реке Неман по численности доминировали *Brachionus calyciflorus*, *B. quadridentatus*, *B. urceus*, *Euchlanis dilatata*, *E. triquetra* и науплии Cyclopoida, по биомассе – *Diaphanosoma mongolianum*, *Chydorus sphaericus*, *Paracyclops fimbriatus* и молодь Cyclopoida. Ряд видов, таких как *Keratella cochlearis tecta*, виды рода *Brachionus*, *Chydorus sphaericus*, *Eubosmina coregoni*, относятся к видам-индикаторам эвтрофных условий (Андроникова, 1996). Эти виды были наиболее представлены в зоопланктоне рек Дейма и Неман.

Увеличение количественных показателей Rotifera и Cladocera и уменьшение численности и биомассы Copepoda в пресноводных водоемах закономерно происходит с повышением уровня трофии и поэтому может служить его индикатором (Андроникова, 1996). В реках Анграпа, Неман и Дейма по численности доминировали коловратки (Rotifera), в р. Шешупе – Cladocera, в р. Приморская доля Rotifera, Cladocera и Copepoda в численности зоопланктона была примерно равной. По биомассе в реках Анграпа и Дейма, также как и по численности, доминировали Rotifera, в р. Шешупе – Cladocera; в реках Приморская и Неман по биомассе доминировали ракообразные (Cladocera и Copepoda).

Минимальные численность и биомасса зоопланктона наблюдались в реках Шешупе и Анграпа, в реках Приморская и Дейма они были значительно выше, а максимальных значений достигали в р. Неман (рис. 2). В летний период во всех исследованных реках были отмечены максимальные значения численности и биомассы зоопланктона, минимальные значения наблюдались в весенний и зимний периоды, в осенний период показатели количественного развития зоопланктона в одних реках были значительно ниже, чем в летний период, в других сопоставимы с показателями отмечающимися в летний период.

По разным структурным показателям зоопланктона воды рек Калининградской области можно отнести к разным трофическим типам (табл. 2). По показателю трофии, коэффициенту трофии и индексу Шеннона воды реки Шешупе можно охарактеризовать как эвтрофные, по индексу $Q_{B/T}$ и соотношению $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ – как мезотрофные, а по биомассе зоопланктона – как олиготрофные. По показателю и коэффициенту трофии воды реки Анграпа можно охарактеризовать как эвтрофные, по индексу $Q_{B/T}$ и индексу Шеннона – как мезотрофные, а по биомассе зоопланктона и соотношению $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ – как олиготрофные. По значениям биомассы, индексу $Q_{B/T}$ и индексу Шеннона воды реки Приморской можно отнести к олиготрофным, по соотношению $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ – к мезотрофным, а по показателю и коэф-

фициенту трофии и соотношению V_{Cycl}/V_{Cal} – к эвтрофным водам. По показателю и коэффициенту трофии воды реки Дейма можно охарактеризовать как гиперэвтрофные, по индексу $Q_{B/T}$ – как эвтрофные, по индексу Шеннона – как мезотрофные, а по соотношению $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ и биомассе зоопланктона – как олиготрофные. По показателю и коэффициенту трофии воды реки Неман можно охарактеризовать как гиперэвтрофные, по индексу $Q_{B/T}$ и соотношению V_{Cycl}/V_{Cal} – как эвтрофные, по индексу Шеннона – как мезотрофные, а по соотношению $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ и биомассе зоопланктона – как олиготрофные.

По показателю сапробности воды всех изученных рек можно охарактеризовать как β -мезосапробные или умеренно загрязненные (табл. 2).

Согласно исследованиям, проведенным в реках Дейма и Преголя в весенне-летний период 2013 г. трофический статус р. Преголя по показателю и коэффициенту трофии можно оценить как эвтрофный переходящий в гиперэвтрофную стадию, по индексу $Q_{B/T}$ и соотношению V_{Cycl}/V_{Cal} – как эвтрофный, по соотношению $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ и индексу Шеннона – как мезотрофный, а по биомассе зоопланктона как олиготрофный. Трофический статус р. Дейма по этим же показателям зоопланктона был выше, в частности по показателю и коэффициенту трофии воды этой реки можно оценить как гиперэвтрофные. Для обеих рек было отмечено изменение показателей зоопланктона, свидетельствующее о возрастании биогенной и органической нагрузки при движении от истока к устью реки, также при движении от истока к устью возрастали численность и биомасса зоопланктона (рис. 3).

Доля мертвых особей в зоопланктоне как в реке Дейма, так и в реке Преголя возрастала при движении от истока к устью, своих максимальных значений для р. Дейма достигая в устье реки (ст. 1), для р. Преголя – в черте г. Калининграда, неподалеку от устья (ст. 16) (рис. 4). Средняя для р. Дейма доля мертвых особей от численности зоопланктона – $4,7 \pm 0,5\%$ была в 2 раза ниже, чем в р. Преголя – $9,3 \pm 0,8\%$. Более высокая доля мертвых особей в зоопланктоне р. Преголя по-видимому связана с более высокой антропогенной нагрузкой на эту реку.

В целом для рек можно сказать, что применительно к ним существующая трофическая классификация вод не всегда адекватна, и по разным структурным показателям зоопланктона качество воды рек и их трофический статус не всегда возможно определить однозначно. Это, прежде всего, связано с особенностями гидрологического режима рек, в которых при высоких скоростях течения зачастую в достаточной степени могут развиваться не все группы зоопланктона. Так, в очень небольшом количестве в реках, как правило, представлены ветвистоусые ракообразные и вообще практически отсутствуют *Calanoida*, что делает неадекватной оценку по соотношениям $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ и V_{Cycl}/V_{Cal} . Также невелико и количественное развитие зоопланктона, что приводит к тому, что численность и биомасса зоопланктона в реках находится на очень низком уровне, характерном для олиготрофных водоемов. Не всегда адекватно можно оценить трофический статус и качество воды в реках и по индексу Шеннона из-за того, что в реках можно наблюдать

ситуацию, когда ни один из видов не достигает высокого количественного развития, соответственно, велика выравненность в зоопланктонном сообществе, из-за чего индекс Шеннона может достигать достаточно высоких значений.

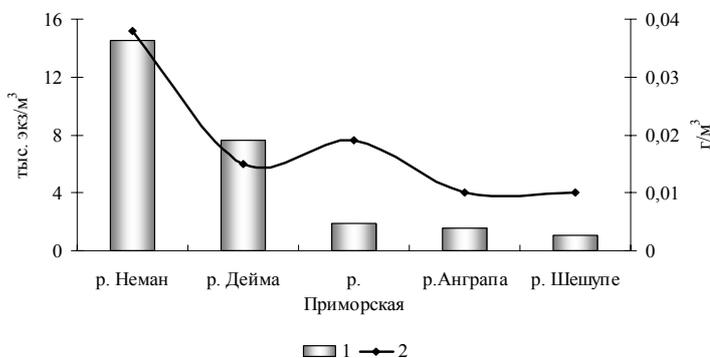


Рис. 2. Численность (1) и биомасса (2) зоопланктона в реках Калининградской области в летний период 2008 г.

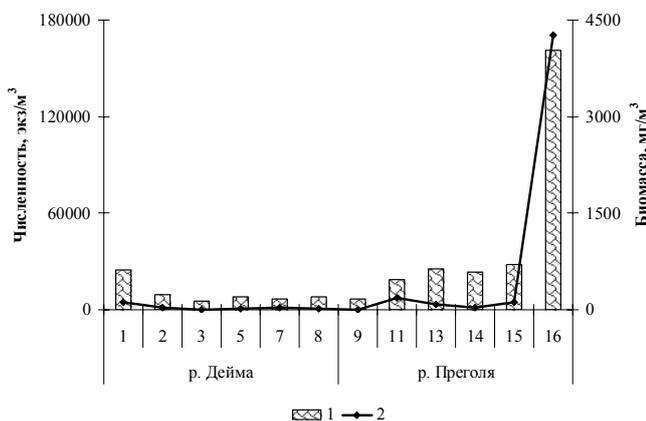


Рис. 3. Изменение численности (1) и биомассы (2) зоопланктона по станциям в реках Дейма и Преголя в весенне-летний период 2013 г.

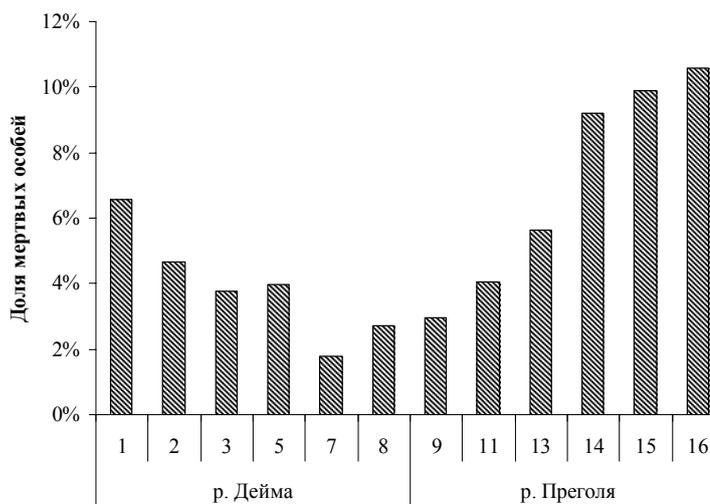


Рис. 4. Изменение доли мертвых особей в зоопланктоне на станциях в реках Дейма и Преголя в весенне-летний период 2013 г.

Также могут быть не совсем адекватны и другие структурные показатели зоопланктона. Так, индекс сапробности не всегда выявляет различия в состоянии исследованных водотоков и иногда неадекватно отражает степень загрязнения рек, это может быть следствием того, что этот индекс хорошо отражает сапробность водоемов, принадлежащих к самым крайним точкам шкалы, гиперэвтрофным или олиготрофным, в большинстве же водоемов обитают как виды-индикаторы эвтрофности, так и виды-индикаторы олиготрофности, так что средний индекс сапробности оказывается не слишком информативным.

Таблица 2

Показатели зоопланктона исследованных рек Калининградской области

Показатель	Река				
	Шешупе	Анграпа	Приморская	Дейма	Неман
Число видов	12	10	13	21	18
E/O	2(Э)	3(Э)	3(Э)	8(ГЭ)	9(ГЭ)
E	1,8(Э)	1,6(Э)	2,7(Э)	12,9(ГЭ)	16,7(ГЭ)
$Q_{B/T}$	1(М)	1(М)	0(О)	3(Э)	3(Э)
B_{Cycl}/B_{Cal}	-	-	22,73(Э)	4,47(Э)	-
$N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$	1,88(М)	0,39(О)	0,93(М)	0,33(О)	0,23(О)
H_N , бит	1,73(Э)	2,40(М)	2,68(О)	2,45(М)	2,38(М)
N , тыс. экз./м ³	1,11	1,55	1,90	7,60	14,50
B , г/м ³	0,006(О)	0,008(О)	0,019(О)	0,015(О)	0,038(О)
ИС	1,76	2,25	1,48	2,07	1,82

Примечание. О – олиготрофный, М – мезотрофный, Э – эвтрофный, ГЭ – гиперэвтрофный.

Как нам представляется, в связи с такой неоднозначностью в оценке трофического состояния и качества воды в реках, нужно не только пытаться анализировать все показатели в совокупности, но и сравнивать между собой показатели по разным рекам, которые получены в один и тот же временной промежуток, для того, чтобы произвести более адекватную оценку.

Исходя из этого, качество воды ухудшается, а трофический статус увеличивается в ряду: реки Шешупе и Анграпа → р. Приморская → р. Преголя → р. Дейма → р. Неман.

Если рассматривать реки по их величине, то очевидно, что качество воды ухудшается в более крупных реках, а также в пределах одной реки при движении от истока к устью, в связи с тем, что происходит накопление загрязняющих веществ. Река Неман протекает через территорию трех государств (Белоруссии, Литвы и Российской Федерации), на всем протяжении в реку поступают промышленные и хозяйственно-бытовые стоки, что приводит к тому, что река Неман является наиболее загрязненной и имеет высокий трофический статус (Ресурсы поверхностных..., 1967; Географический ат-

лас..., 2002; Рыбохозяйственный кадастр..., 2008). В другие реки также поступают как хозяйственно-бытовые стоки, так и смывы с полей, что ведет их загрязнению и эвтрофированию (Берникова, Рябой, 1997; Берникова и др., 2000; Берникова и др., 2001; Водоемы Калининградской..., 2002). В целом все изученные реки находятся в неблагоприятном состоянии, при этом наиболее загрязнены и эвтрофированы реки Преголя, Дейма и Неман, что подтверждается большинством показателей зоопланктона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Берникова Т.А., Шкицкий В.А., Шибаета М.Н. Оценка экологического состояния реки Шешупе. Сб. тр. АтлантНИРО. VIII съезд гидробиол. общ-ва РАН (Калининград, 16-23 сентября 2001). Калининград, 2001. С. 31-35. – **Берникова Т.А., Шкицкий В.А., Шибаета М.Н., Рябой В.Е.** Экологическая оценка рек Нельмы и Приморской // Междунар. науч.-техн. конф., посвященная 70-летию основания Калинингр. гос. техн. ун-та (17-19 окт. 2000 г.): Материалы. Ч. I. Калининград: КГТУ, 2000. С. 167-168. – **Берникова Т., Рябой В.Е.** Оценка экологического состояния некоторых малых рек Калининградской области по гидрологическим показателям // Экологические проблемы Калининградской области. Сб. научн. тр. Калининград, 1997. С. 24-29.

Водоемы Калининградской области. Оценка экологического состояния /Проект TACIS ENVRUS 9803 Экологический мониторинг и управление водными ресурсами Калининградской области. Калининград, 2002. 66 с.

Географический атлас Калининградской области / Под ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.

Дубовская О.П. Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения // Журн. Сибирского Федерального ун-та. Сер. Биология. 2008. № 2. С. 145-161.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г.Г. Винберг, Г.М.Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ; ЗИН АН СССР, 1984. 33 с. (2-е изд.).

Ресурсы поверхностных вод СССР. Прибалтийский район, Литовская ССР и Калининградская область. Л.: Гидрометеиздат, 1967. Т. 4, вып. 3. 507 с.

Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. 200 с.

Bickel S.L., Tang K.W., Grossart H.P. Use of aniline blue to distinguish live and dead crustacean zooplankton composition in freshwaters // *Freshwater Biology*. 2008. V. 54, № 5. P. 971-981.

Seepersad B., Crippen R.W. Use of aniline blue for distinguishing between live and dead freshwater zooplankton // *J. Fish. Res. Board Canada*. 1978. V. 35, № 10. P. 1363-1366.

Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // *Arch. Hydrobiol*. 1973. V. 7. 218 p.