

## БИОИНДИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕК ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА КОПОРСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА\*

© 2018 г. Д.В. Кулаков<sup>1</sup>, М.Е. Макушенко<sup>1</sup>, Е.А. Верещагина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

**Ключевые слова:** зоопланктон, зообентос, биомасса, видовое разнообразие, гидрохимические условия, р. Систа, р. Воронка, р. Коваши, оценка качества вод, загрязнение, биоиндикация, экологический мониторинг.



Д.В. Кулаков



М.Е. Макушенко



Е.А. Верещагина

Представлены результаты исследований зоопланктона и зообентоса рек Систа, Воронка и Коваши, относящихся к водосборному бассейну Копорской губы Финского залива (Ленинградская

область), выполнена оценка качества речных вод. Определен видовой состав гидробионтов, выявлены количественные показатели и закономерности сезонной динамики таксономической структуры сообществ.

В зоопланктоне исследованных рек по количеству видов преобладали коловратки, доля численности и биомассы которых сокращалась от весеннего периода к осеннему за счет увеличения доли ветвистоусых ракообразных. Зообентос рек в весенний период представлен в основном олигохетами и хиромонидами, в летний период возрастала роль моллюсков, малощетинковых червей и ручейников. Различия таксономического состава зообентоса исследованных водотоков определялись составом субстратов обрастания, морфометрией, сезонными изменениями структуры и органическим загрязнением водотоков.

По гидробиологическим показателям воды рек бассейна Копорской губы соответствуют в основном III классу качества (слабозагрязненные воды). Тро-

\* Работа поддержана проектом СПбГУ 3.19.6.2016

фический тип водотоков изменялся от эвтрофного до гиперэвтрофного. По показателям индекса сапробности реки в большинстве случаев относились к  $\beta$ -мезосапробной зоне. Наибольшее загрязнение испытывала р. Коваши, особенно в нижнем течении. Наиболее благополучной являлась р. Систа.

Наиболее значимыми водотоками, впадающими в Копорскую губу Финского залива, являются реки Систа, Воронка и Коваши, в настоящее время испытывающие загрязнение. Поступление в залив загрязненных речных вод, наряду с тепловым воздействием Ленинградской атомной станции (ЛАЭС), способствует нарушению естественного режима Копорской губы [1, 2], эвтрофикации и термофикации данного водного объекта [3, 4]. Кроме того, реки бассейна Копорской губы имеют рыбохозяйственное значение в связи с охраной и восстановлением численности проходной формы кумжи (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758). Исходя из всего сказанного выше, весьма актуально исследование их экологического состояния. В частности, в рамках комплексного экологического мониторинга были изучены зоопланктон и зообентос – важнейшие компоненты водных экосистем, участвующие в процессах естественного самоочищения водоемов и составляющие значительную часть рациона многих видов рыб. Гидробиологических исследований в режиме мониторинга на реках Систа, Воронка и Коваши ранее не проводилось.

Цель работы – оценка качества вод речных экосистем водосборного бассейна Копорской губы Финского залива по гидробиологическим показателям.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования осуществляли на реках Систа (ст. 1, 2), Воронка (ст. 3, 4), Коваши (ст. 5, 6) ежемесячно в период с апреля по октябрь 2010–2015 гг. на станциях, расположенных в районе устья и среднем течении рек (рис. 1). Пробы отбирали в прибрежной части рек на расстоянии 1,5–3,0 м от берега.

Гидрохимический анализ проб выполнялся в аккредитованных лабораториях Санкт-Петербурга (НПО «Тайфун» и ЗАО «Региональный аналитический центр Механобр инжиниринг аналит») по стандартным методикам [5–11]. По результатам гидрохимического анализа, был рассчитан удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) [12].

Отбор и обработку гидробиологических проб осуществляли по общепринятым методикам [13] с использованием соответствующих определителей [14–21]. Пробы зоопланктона получали путем фильтрования 50–100 л воды через газ с размером ячеек 64 мкм. Для отбора проб зообентоса применяли дночерпатель Петерсена (площадь захвата 1/40 м<sup>2</sup>, две повторности на каждую станцию отбора проб). Для фиксации проб использовали 70-процентный этиловый спирт.



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб.

Состояние сообществ гидробионтов оценивалось по видовому составу, численности, биомассе, доле таксономических групп от общей численности и биомассы. Доминантные виды выделяли, принимая за нижнюю границу доминирования обилие  $\geq 10\%$  от суммарного количества. Видовое разнообразие сообществ определяли по информационному индексу Шеннона–Уивера, сапробность водных объектов – по индексу сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека [22], рассчитанному по зоопланктону и зообентосу. Трофический статус водотоков определялся по фаунистическому коэффициенту трофности Мяэметса [23], рассчитанному по показателям зоопланктона. Оценка качества вод по показателям зообентоса осуществлялась с помощью олигохетного индекса Гуднайта–Уитлея, биотического индекса и индекса Балушкиной [24, 25]. По результатам исследований воды речных экосистем водосборного бассейна Копорской губы Финского залива были подразделены на 6 классов качества [26].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

По химическому составу воды исследованных рек – гидрокарбонатно-кальциевые, пресные среднеминерализованные, со средней минерализацией  $0,29 \text{ г/дм}^3$ . По величине водородного показателя – нормальные (значения

в среднем близки к 7,8) [27]. Содержание гидрокарбонат-аниона варьировало в пределах от 14,6 до 355 мг/дм<sup>3</sup> со средним значением 207 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание аммонийного азота достигало до 1,5 мг/л (в среднем 0,56 мг/л). Максимальные значения, превышающие предельно допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоемов (ПДК<sub>рх</sub>), наблюдались в период повышенного стока в мае и августе. Содержание нитритов в среднем было ниже установленной нормы и составляло 0,07 мг/л. Во всех отобранных пробах содержание общего железа превышало ПДК<sub>рх</sub>. В зимнюю и летнюю межень практически на всех станциях отбора проб показатели ХПК и БПК<sub>5</sub> также превышали ПДК<sub>рх</sub>. Наиболее загрязненной являлась р. Коваши.

**Река Систа** вытекает из Коростовицкого озера и впадает в Копорскую губу у пос. Систа-Палкино. Длина реки составляет 69 км, площадь водосбора – 672 км<sup>2</sup> [28]. Берега заболоченные, местами высокие обрывистые. Вдоль берегов растут кустарники, смешанные, елово-березовые и сосново-березовые леса. Около деревень располагаются луга и пашни. Для р. Систа характерен смешанный тип питания, преимущественно снеговой и в значительной доле подземный в верховьях. Среднегодовой расход воды за многолетний период составляет 6,53 м<sup>3</sup>/с.

В зоопланктоне р. Систа выявлено 36 таксонов видового и подвидового рангов (в среднем до 6 видов и подвидов в пробе). В разные периоды исследований по численности доминировали *Euchlanis dilatata lucksiana* Hauer, 1832; *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785); *K. cochlearis* (Gosse, 1851) и ювенильные особи Copepoda. Доминирующими по биомассе были *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Euchlanis dilatata lucksiana*, *Keratella cochlearis baltica* Imhof, 1886, *K. quadrata* (O.F. Müller, 1786).

Средняя численность зоопланктона достигала до 1,059±0,343 тыс. экз/м<sup>3</sup>, средняя биомасса – до 0,010±0,004 г/м<sup>3</sup> (табл. 1). В апреле основную долю численности и биомассы сообщества составляли коловратки, что характерно для речных экосистем в начале их сезонного развития. Летом и в осенний период доля коловраток сокращалась за счет развития рачкового планктона, представленного в основном науплиусами веслоногих и взрослыми особями ветвистоусых ракообразных.

В зообентосе р. Систа отмечено более 29 таксонов беспозвоночных, в состав которых входили: Annelida, Diptera, Coleoptera, Trichoptera, Plecoptera, Hemiptera, Ephemeroptera, Odonata, Hydracarina, Arthropoda, Gastropoda, Bivalvia, Hirudinea, Oligochaeta, Polychaeta. По численности доминировали *Chironomus halophilus* Packard, 1873, *Polypedilum scalaenum* (Schrank, 1803), *Limnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), а также *Hydropsyche angustipennis* (Curtis, 1834), *Limnephilus rhombicus* (Linnaeus, 1758), *Anabolia* sp., *Ephemera vulgata* (Linnaeus, 1758), *Heptagenia sulphurea* (O.F. Müller, 1776).

**Таблица 1.** Показатели зоопланктона рек водосборного бассейна Копорской губы, в среднем за период исследований

Показатель	р. Систа		р. Воронка		р. Коваши	
	ст. 1	ст. 2	ст. 3*	ст. 4	ст. 5	ст. 6
Среднее количество видов в пробе	3,7± 0,9	6,4± 1,2	1,5	4,7± 0,9	5,2± 0,9	6,3± 0,6
Средняя численность, тыс. экз/м <sup>3</sup>	0,6489± 0,2963	1,0589± 0,3426	0,1783	1,1091± 0,6870	1,8989± 0,9882	2,9961± 1,1651
Средняя биомасса, г/м <sup>3</sup>	0,0028± 0,0024	0,0096± 0,0039	0,0001	0,0309± 0,0275	0,0048± 0,0022	0,0194± 0,0054
Индекс Шеннона – Уивера, бит/экз.	1,7± 0,4	1,8± 0,3	0,7	1,7± 0,2	1,7± 0,3	2,2± 0,1
Индекс Шеннона – Уивера, бит/г	1,4± 0,3	1,4± 0,3	0,7	1,1± 0,3	1,6± 0,2	1,7± 0,2
Коэффициент трофности	4,5± 2,5	5,1± 0,8	–**	3,9± 1,1	4,4± 1,1	2,2± 0,4
Трофность водного объекта	ГЭ	ГЭ	–	Э	ГЭ	Э
Индекс сапробности	1,4± 0,1	1,5± 0,0	–	1,5± 0,1	1,5± 0,0	1,5± 0,1
Сапробность водного объекта	О	β-М	–	β-М	β-М	β-М

*Примечание:* \* – ошибку среднего не подсчитывали из-за малой для статистической обработки выборки; \*\* – расчет невозможен из-за недостаточного количества данных; ГЭ – гиперэвтрофный; Э – эвтрофный; О – олигосапробный; β-М – β-мезосапробный.

Численность зообентоса р. Систа в весенний период в среднем составляла 0,540 тыс. экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 4,6 г/м<sup>2</sup>. После завершения паводка, замедления скорости течения и стабилизации субстратов, количественные показатели зообентоса возрастали. В летний период численность донных беспозвоночных в среднем по станциям составляла 0,867 тыс. экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 10,7 г/м<sup>2</sup> (табл. 2). Отмечалась сезонная смена преобладающих групп организмов: весной наиболее многочисленными были хирономиды, в летний период возрастала доля моллюсков, малощетинковых червей и ручейников.

**Река Воронка** берет начало в 1 км к юго-западу от д. Савольщина и в 0,5 км западнее пос. Никольское, впадает в Копорскую губу у д. Керново. Длина реки – 37 км, площадь водосбора – 286 км<sup>2</sup>. В 4 км ниже истока река зарегулирована земляной плотиной с перепадом воды 2 м. Длина реки от плотины до устья составляет 33 км [28]. Бассейн реки имеет возвышенный, слегка холмистый рельеф. Растительность представлена смешанным лесом,

большей частью заболоченным. Речная сеть развита слабо и представлена мелкими ручьями и многочисленными ключами, выбивающимися у подошвы склонов долины. Расчетный максимальный расход воды р. Воронки составляет 8,6 м<sup>3</sup>/с.

В зоопланктоне р. Воронка зарегистрировано 28 таксонов видового и подвидового рангов, в одной пробе обнаруживалось в среднем до 5 видов и подвидов. В период исследований доминирующими по численности были науплиусы и копеподиты веслоногих ракообразных, *Euchlanis dilatata lucksiana* и *Bosmina longirostris*, кроме того, по численности доминировала коловратка *Keratella cochlearis baltica*, проникающая в устье реки из Финского залива. По биомассе доминировали *Asplanchna priodonta*, *Euchlanis dilatata lucksiana*, *Keratella cochlearis* и *K. quadrata*.

Средние значения численности зоопланктона достигали 1,109±0,687 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомассы – 0,031±0,028 г/м<sup>3</sup> (табл. 1). В весенний период по соотношению численности и биомассы основных таксономических групп в зоопланктоне преобладали коловратки, в летний период и осенью доля коловраток в сообществе сокращалась за счет увеличения численности и биомассы ветвистоусых ракообразных.

**Таблица 2.** Показатели зообентоса рек водосборного бассейна Копорской губы, в среднем за летние периоды

Показатель	р. Систа		р. Воронка		р. Коваши	
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 4	ст. 5	ст. 6
Среднее количество видов в пробе	9,0± 2,4	8,0± 2,6	7,0± 4,6	6,3± 3,1	6,2± 1,6	4,1± 2,2
Средняя численность, тыс. экз/м <sup>2</sup>	0,751± 0,071	0,983± 0,095	0,603± 0,067	0,743± 0,066	0,372± 0,083	0,574± 0,095
Средняя биомасса, г/м <sup>2</sup>	6,6± 3,1	14,8± 5,4	5,4± 3,9	9,6± 3,4	4,0± 2,4	6,2± 3,0
Индекс Балушкиной	1,7	1,0	2,7	4,1	4,0	3,7
Индекс Гуднайта – Уитлея (по численности)	32,0	39,0	42,0	42,0	41,0	49,0
Индекс Майера	12,0	20,0	16,0	15,0	15,0	9,0
Индекс сапробности	1,4	2,5	2,1	1,6	1,6	3,8
Биотический индекс	5,0	6,0	4,0	4,0	4,0	3,0
Класс качества воды	II–III	II–III	III	III	III	III–IV
Степень загрязнения воды	Ч–СЗ	Ч–СЗ	СЗ	СЗ	СЗ	СЗ–З

Примечание: Ч – чистые; СЗ – слабозагрязненные; З – загрязненные.

Зообентос р. Воронка был представлен более 27 таксонами, в состав которых входили: Annelida, Diptera, Coleoptera, Trichoptera, Plecoptera, Hemiptera, Ephemeroptera, Odonata, Hydracarina, Arthropoda, Gastropoda, Bivalvia, Hirudinea, Oligochaeta, Polychaeta. В течение вегетационного периода по численности доминировали олигохеты и хирономиды (*Nais simplex* Piquet, 1906, *Chironomus* sp.). Основной вклад в биомассу вносили моллюски и пиявки. Повсеместно встречались *Anodonta cygnea* (Linnaeus, 1758), *Timidiana* sp., прудовики и битинии.

В весенний период олигохеты и хирономиды вносили равный вклад в численность зообентоса. Летом роль олигохет возрастала, что связано с вылетом из водоема имаго насекомых. Средняя численность донных беспозвоночных весной составляла 1,061 тыс. экз/м<sup>2</sup>, летом – 0,673 тыс. экз/м<sup>2</sup>; биомасса соответственно 9,2 г/м<sup>2</sup> и 7,5 г/м<sup>2</sup> (табл. 2).

**Река Коваши** образуется при слиянии рек Рудица и Черная, впадает в Копорскую губу в г. Сосновый Бор. Длина реки составляет 66 км. Площадь водосбора – 612 км<sup>2</sup> [28]. Тип питания – смешанный, водосбор имеет плоский, местами слабоволнистый рельеф. Грунты представлены преимущественно супесями, реже суглинками, на болотах – торфянистые. Большая часть бассейна покрыта смешанным лесом. Среднегодовой расход воды за многолетний период составляет 4,05 м<sup>3</sup>/с.

Среди планктонных беспозвоночных р. Коваши в период исследований выявлено 45 таксонов видового и подвидового рангов (в среднем до 6 видов и подвидов в пробе). По численности доминировали науплиусы и копеподиты циклопов, *Euchlanis dilatata lucksiana*, *Bosmina longirostris*, *Keratella cochlearis*. Доминирующими по биомассе были *Asplanchna priodonta*, *Euchlanis dilatata lucksiana*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Notholca acuminata* (Ehrenberg, 1832).

Средние значения численности зоопланктона достигали 2,996±1,165 тыс. экз/м<sup>3</sup>, биомассы – 0,019±0,005 г/м<sup>3</sup> (табл. 1). В весенний период и в начале лета основную долю численности и биомассы составляли коловратки и веслоногие ракообразные. В середине лета и осенью в зоопланктоне возрастала доля ветвистоусых ракообразных за счет развития представителей рода *Bosmina*.

В зообентосе р. Коваши определено 23 таксона беспозвоночных, среди которых доминирующими были олигохеты и личинки хирономид, представленные видами *Lipiniella arenicola* Shilova, 1961, *Cladotanytarsus* гр. *mancus* (Walker, 1856).

Средняя численность зообентоса весной составляла 0,962 тыс. экз/м<sup>2</sup>, летом – 0,473 тыс. экз/м<sup>2</sup>, биомасса соответственно 7,2 г/м<sup>2</sup> и 5,1 г/м<sup>2</sup> (табл. 2). В отличие от рек Систа и Воронка, где значения количествен-

ных показателей зообентоса были близки на всех станциях отбора проб, в р. Коваши видовой состав и биомасса донных беспозвоночных изменялись от истока к устью реки. Так, на ст. 5 по численности и биомассе преобладали личинки ручейников, двустворчатые моллюски и поденки. На ст. 6 основу биомассы составляли хирономиды и мелкие олигохеты, что свидетельствует об органическом загрязнении данного участка реки.

В межгодовом ряду наблюдений во всех исследованных реках прослеживалась положительная динамика загрязнения вод (рис. 2): в р. Коваши – от слабо загрязненных в 2011 г. (УКИЗВ = 1,3) до загрязненных в 2013 г. (УКИЗВ = 2,72); в р. Систа – от условно чистых в 2010 г. (УКИЗВ = 0,76) до загрязненных в 2012 г. (УКИЗВ = 2,28); в р. Воронка – от слабо загрязненных в 2010 г. (УКИЗВ = 1,55) до загрязненных в 2013 г. (УКИЗВ = 2,79).

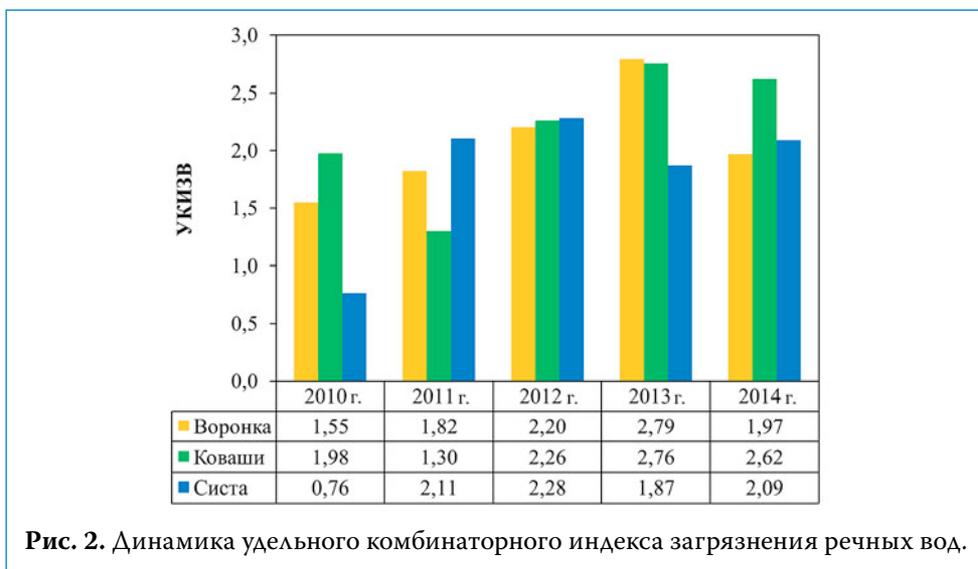


Рис. 2. Динамика удельного комбинаторного индекса загрязнения речных вод.

По показателям зоопланктона трофические условия рек Систа, Воронка и Коваши в период исследований варьировали от эвтрофных до гиперэвтрофных [29], достигая наибольших значений в р. Систа (ст. 1, 2) и среднем течении р. Коваши (ст. 5) (табл. 1). По величинам индекса сапробности изученные водотоки относятся к β-мезосапробной зоне («слабозагрязненная вода»), за исключением станции, расположенной в среднем течении р. Систа (ст. 1), где обнаруживались олигосапробные условия («условно чистая вода»).

Значения индекса Шеннона – Уивера, рассчитанного по численности и биомассе зоопланктона (табл. 1) свидетельствовали о наибольшей выравненности сообщества в устье р. Коваши (ст. 6), где за период исследований обнаружено наибольшее таксономическое разнообразие. Наименьшие ве-

личины данного индекса зарегистрированы в среднем течении р. Воронка (ст. 3), где зоопланктон был крайне беден и представлен всего 2 видами коловраток и молодью веслоногих ракообразных.

Применение методов биоиндикации по зообентосу [24–25] позволило отнести воды р. Систа к II–III классу (переходный класс качества от «чистых» к «слабозагрязненным водам»). Здесь отмечены наибольшие значения биотического индекса, высокое видовое разнообразие сообщества и низкие значения олигохетного индекса.

Воды р. Воронка и р. Коваши на ст. 5 отнесены к III классу качества, что соответствует «слабозагрязненным водам». Воды устья р. Коваши (ст. 6) по гидробиологическим показателям в вегетационный период можно отнести к переходному III–IV классу качества. Здесь отмечается невысокое видовое разнообразие донных беспозвоночных и значительная доля олигохет в сообществе.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По химическому составу воды рек Систа, Воронка и Коваши отнесены к гидрокарбонатно-кальциевым, пресным среднеминерализованным, нормальным по величине рН. Превышения ПДК<sub>рх</sub> по содержанию аммонийного азота наблюдались в период повышенного стока. Кроме того, отмечены превышения ПДК<sub>рх</sub> по содержанию общего железа, показателям ХПК и БПК<sub>5</sub>. В межгодовом ряду наблюдений во всех реках прослеживалась положительная динамика загрязнения вод. Наиболее загрязненной являлась р. Коваши.

Зоопланктон рек типичен для водоемов Северо-Запада России, имеет низкий уровень количественного развития. Во всех водотоках по количеству видов коловратки преобладали над ветвистоусыми и веслоногими ракообразными. В сезонной динамике таксономической структуры сообщества от весеннего периода к осеннему наблюдалось сокращение доли коловраток за счет развития рачкового зоопланктона. Причем, основной вклад в численность и биомассу сообщества в осенний период вносили ветвистоусые ракообразные.

Сообщества донных беспозвоночных достаточно разнообразны. В зообентосе встречались следующие группы организмов: Spongia, Annelida, Diptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera, Plecoptera, Hemiptera, Ephemeroptera, Odonata, Hydracarina, Arthropoda, Gastropoda, Bivalvia, Hirudinea, Oligochaeta, Polychaeta. Различия в таксономической структуре зообентоса исследованных водотоков определялись составом субстратов обрастания, морфометрией водотоков и степенью органического загрязнения.

По гидробиологическим показателям воды исследованных рек оценивались как эвтрофно-гиперэвтрофные, относящиеся в большинстве случа-

ев к  $\beta$ -мезосапробной зоне. Водам, в основном, можно присвоить III класс качества (слабое загрязнение). По показателям зоопланктона наибольшая степень трофности обнаружена в р. Систа. По показателям зообентоса наибольшее загрязнение зарегистрировано в нижнем течении р. Коваши в районе г. Сосновый Бор.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макушенко М.Е., Кулаков Д.В., Верещагина Е.А. Зоопланктон Копорской губы Финского залива в зоне Воздействия Ленинградской АЭС // Гидробиологический журнал. 2014. № 2. Т. 50. С. 3–15.
2. Кулаков Д.В., Макушенко М.Е., Верещагина Е.А. Влияние Ленинградской АЭС на зоопланктон и зообентос Копорской губы Финского залива // Водное хозяйство России. 2015. № 1. С. 42–54.
3. Безносков В.Н., Кучкина М.А., Суздалева А.А. Исследование процесса термического эвтрофирования в водоемах-охладителях АЭС // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 5. С. 610–615.
4. Веригин Б.В. О явлении термического эвтрофирования водоемов // Гидробиологический журнал. 1977. Т. 13. № 5. С. 98–105.
5. ГОСТ 8.556-91. ГСИ. Методики определения состава и свойств проб вод. Общие требования к разработке. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 8 с.
6. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 7 с.
7. ГОСТ Р 8.563-2009. ГСИ. Методики (методы) измерений. М.: Стандартинформ, 2010. 27 с.
8. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Госстандарт России, 2005. 32 с.
9. РД 52.18.598-98. Аккредитация лабораторий (центров) мониторинга загрязнения окружающей природной среды. Общие требования к «Руководству по качеству аккредитованной лаборатории (центра)». СПб: Гидрометеиздат, 2000. 24 с.
10. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2002. 49 с.
11. Р 52.24.353-94. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. М.: Гидрометеиздат, 1995. 21 с.
12. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2002. 49 с.
13. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
14. Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР // Труды зоологического института АН СССР. 1970. Вып. 104. 742 с.
15. Мамаев Б.М. Определитель насекомых по личинкам. М.: Просвещение, 1972. 412 с.

16. Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.–Л.: Наука, 1964. 328 с.
17. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2010. 495 с.
18. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). Л.: Гидрометеиздат, 1977. 511 с.
19. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1. Низшие беспозвоночные. СПб: Зоол. инст-т РАН, 1994. 394 с.
20. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные. СПб: Зоол. инст-т РАН, 1995. 627 с.
21. Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С. Определитель Calanoida пресных вод СССР. СПб: Наука, 1991. 503 с.
22. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. 1973. Vol. 7. P. 1–218.
23. Мяземтс А.Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 54–64.
24. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Вып. 2. Сб. науч. тр. Л., 1989. 275 с.
25. Унифицированные методы исследования качества вод // Методы биологического анализа вод. Ч. III. М.: Изд-во СЭВ, 1976. 186 с.
26. ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Введ. с 01.01.83. М.: Изд-во стандартов, 1982. 12 с.
27. ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. Введ. с 01.07.78. М.: Изд-во стандартов, 1977. 17 с.
28. Гидрографические характеристики речных бассейнов Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1971.
29. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб: Наука, 1996. 189 с.

#### **Сведения об авторах:**

Кулаков Дмитрий Владимирович, канд. биол. наук, научный сотрудник, Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М.Сергеева Российской академии наук (СПбО ИГЭ РАН), Россия, 199004, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 41, оф. 519, а/я № 107; e-mail: dvkulakov@mail.ru

Макушенко Мария Евгеньевна, научный сотрудник, Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (СПбО ИГЭ РАН), Россия, 199004, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 41, оф. 519, а/я № 107; e-mail: maria@hgepro.ru

Верецагина Елена Андреевна, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ), Россия, 199004, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; e-mail: ea.grigorieva@gmail.com