

УДК 556.556:574.5 (470.22)

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА УРОЗЕРО (КАРЕЛИЯ) ПО ПРОДУКЦИОННО- ДЕСТРУКЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

**Е. В. Теканова**

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,  
Петрозаводск, Россия*

Озеро Урозера имеет статус государственного гидрологического памятника природы регионального значения на территории Карелии. Отличительными природными особенностями водоема до середины 2000-х гг. являлись очень высокая прозрачность воды и ультраолиготрофное состояние экосистемы. В 2018 г. были изучены первично-продукционные и деструкционные характеристики экосистемы Урозера как интегральные показатели современного состояния и направленности ее функционирования. Важность такой оценки определяется новыми климатическими условиями на территории Карелии, влияющими на водосборные территории. Эти изменения приводят к увеличению поступления в водные объекты аллохтонного органического вещества. Измеренные в мае, июле и сентябре величины фотосинтеза (в среднем 22 мкг С/л-сут), хлорофилла *a* (в среднем 1,6 мкг/л), ассимиляционных чисел (в среднем 21 мкг С/мкг Chl), Р/В-коэффициентов (в среднем 1,2 сут<sup>-1</sup>) и прозрачности воды (в среднем 9,8 м) указывают на сохранение ультраолиготрофного состояния экосистемы озера. Весной и летом в условиях избыточной инсоляции и высокой прозрачности воды обнаружено необычное для водоемов Карелии вертикальное распределение хлорофилла *a* в воде с максимальными величинами на глубине одной прозрачности. Изменение в толще воды величин деструкции органического вещества повторяет вертикальную динамику хлорофилла *a*. Это, наряду с неизменно высокой прозрачностью озерной воды, свидетельствует об отсутствии влияния на водную экосистему аллохтонного органического вещества. В современных условиях климатических изменений на водосборной территории и антропогенного воздействия природное экологическое состояние оз. Урозера сохраняется благодаря отсутствию поверхностного притока и природоохранным мерам.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** водоем; гидрологический памятник; хлорофилл *a*; фотосинтез фитопланктона; деструкция органического вещества; трофическое состояние.

### **E. V. Tekanova. CURRENT STATE OF THE ECOSYSTEM OF LAKE UROZERO, KARELIA, ASSESSED THROUGH PRIMARY PRODUCTION AND DESTRUCTION INDICATORS**

Lake Urozero has the status of a regional-level state hydrological nature monument in the Republic of Karelia. Up until the mid-2000's, the lake have been noted for very high water transparency and the ultra-oligotrophic state of the ecosystem. In 2018, the primary production and destruction characteristics of the Urozero ecosystem were studied as integral indicators of the current state and direction of its functioning. Such assessments

are necessitated by the modified climatic conditions in Karelia, which affect catchments. These changes result in enlarged flow of allochthonous organic matter to water bodies. The values of photosynthesis (average 22  $\mu\text{g C/l}$  per day), chlorophyll *a* (average 1.6  $\mu\text{g/l}$ ), daily assimilation number (on average 21  $\mu\text{g C}/\mu\text{g Chl}$ ), P/B factor (average 1.2 days<sup>-1</sup>) and water transparency (average 9.8 m) were measured in May, July and September. These measurements confirm that the lake ecosystem has retained its ultra-oligotrophic state. In spring and summer, when solar radiation is excessive and water transparency is high, the vertical distribution of chlorophyll *a* showed a pattern unusual for Karelia, with maximum values found at the depth of one transparency. The change in the values of organic matter destruction down the water column corresponds to the vertical dynamics of chlorophyll *a*. This vertical distribution of the values of destruction, as well as the consistently high transparency of the lake water, indicates that allochthonous organic matter does not affect the water ecosystem. The natural ecological state of Lake Urozero in the current circumstances of climate change in the catchment area and human pressure is retained owing to the absence of surface inflows and nature conservation measures to counteract pollution.

**Key words:** water body; hydrological monument; chlorophyll *a*; phytoplankton photosynthesis; organic matter destruction; trophic state.

## Введение

Озеро Урозера в южной Карелии – государственный региональный гидрологический памятник природы в составе заказника «Урозера». Отличительной чертой водоема, сделавшей его природной достопримечательностью, является очень светлая и чрезвычайно прозрачная вода голубовато-зеленоватого оттенка. По прозрачности, достигающей 9–10 м, вода Урозера сходна с байкальской. Вода такого качества нетипична для водных объектов нашей геохимической провинции. В условиях высокой заболоченности водосборной территории Карелии поверхностный приток несет в водоемы гумусовые вещества в комплексе с железом и фосфором. Это определяет повышенную цветность озерной воды, ее невысокое качество и низкую биопродуктивность [Озера..., 2013; Lozovik, 2013; Теканова и др., 2017, 2018]. Особенности характеристики воды оз. Урозера определяются очень низкой степенью заболоченности водосбора (3–5 %), отсутствием речного стока и кристаллическими породами на водосборной территории [Поверхностные..., 1991]. Последние сведения о химическом составе воды Урозера относятся к 1980-м годам [Озера..., 2013], о состоянии водных сообществ – к 2000-м [Озера..., 2013; Ильмаст и др., 2015]. Вплоть до середины 2000-х годов состояние экосистемы водоема было ультраолиготрофным.

Известно, что современные изменения климата в Карелии проявляются в повышении летних температур воздуха, увеличении доли жидких осадков зимой и количества осадков осенью, участвовавших ливневых дождях, в увеличении продолжительности солнечного си-

яния [Филатов, 1997; Назарова, 2015 и др.]. На водных объектах Карелии с 1990-х годов наблюдается сокращение ледоставного периода и увеличение продолжительности и суммы градусо-дней «биологического» лета [Efremova et al., 2013, 2016]. Показано, что последствия климатических изменений на водосборной территории приводят к увеличению выноса в водоемы гумусовых веществ, железа и фосфора [Калинкина и др., 2018]. В связи с текущими климатическими преобразованиями представляется важным оценить современное состояние экосистемы оз. Урозера и подтвердить его ценность как природного памятника.

Целью работы была оценка первично-продукционных и деструкционных характеристик оз. Урозера как интегральных показателей уровня и направленности функционирования водной экосистемы.

## Материалы и методы

Озеро Урозера – небольшой глубокий водоем, его средняя глубина 12 м, максимальная – 35 м, площадь – 13,4 км<sup>2</sup>, объем – 0,161 км<sup>3</sup>. Прозрачность воды в 1990-е годы достигала 9 м, ее цветность – лишь 3 град., концентрация железа и общего фосфора в воде была низкой – 0,1 мг/л и 5,0 мкг/л соответственно. Минерализация воды составляла 28 мг/л [Озера..., 2013].

Продукционно-деструкционные характеристики оз. Урозера изучались в весенний (май), летний (июль) и осенний (сентябрь) периоды 2018 г. на глубоководной (32,5 м) станции. Пробы воды для оценки концентрации хлорофилла *a*, скорости фотосинтеза фитопланктона, деструкции органического вещества (ОВ) отбира-

лись на 3–5 горизонтах водной толщи в зависимости от прозрачности и наличия температурной стратификации воды.

Измерения проводились общепринятыми в гидробиологической практике методами. Концентрация хлорофилла *a* определялась спектрофотометрически [ГОСТ..., 1990], скорость фотосинтеза и деструкции ОВ – скляночным кислородным методом [Кузнецов, Дубинина, 1989]. Суточная инкубация проб выполнялась в термостате («темные» склянки) и стеклянном инкубаторе («светлые» склянки) с функцией установки и поддержания заданной температуры, соответствующей температуре воды горизонта взятия пробы. Данные по биомассе фитопланктона для расчета Р/В-коэффициентов и содержания хлорофилла в фитопланктоне предоставлены Ю. Л. Сластиной. При расчете Р/В-коэффициентов биомасса фитопланктона выражалась в единицах углерода, при этом принималось, что в сырой биомассе содержится 10 % углерода [Гутельмахер, 1986]. Для перевода количества кислорода в единицы углерода ассимиляционный коэффициент принимался равным 1,25 [Бульон, 1993а].

Температура воды определялась с помощью глубоководного зонда Casteway-CTD. Прозрачность воды измерялась диском Секки.

## Результаты и обсуждение

### *Температурные условия в воде*

Температурные условия в толще воды весной в период измерений были близки к состоянию гомотермии – 6,3 и 4,1 °С в поверхностном и придонном слоях воды соответственно (рис. 1). Летом верхний перемешанный слой с температурой воды 21,7–21,0 °С достигал 8-метровой глубины. Зона термоклина была растянута и достигала толщины 14 м. В нижнем 10-метровом слое воды температура составляла 6,0–4,5 °С. В осенний период эпилимнион, где температура воды составляла 14,9–14,7 °С, заглублялся уже до 12 м. Слой температурного скачка был выражен отчетливо, сужаясь до 8 м. Таким образом, устойчивая температурная стратификация воды сформировалась лишь к осени.

### *Хлорофилл *a**

Концентрация хлорофилла *a* в воде Урозера была низкой во все периоды отбора проб и находилась в пределах 0,7–2,2 мкг/л (рис. 2). Фотический слой при глубине 30 м и прозрачности воды 10,3–8,5 м (табл.) почти достигал

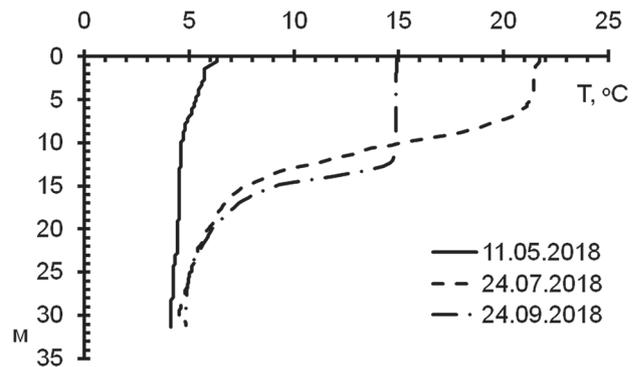


Рис. 1. Температура воды в оз. Урозеро во время исследований 2018 г.

Fig. 1. The water temperature in Lake Urozero during the research in 2018

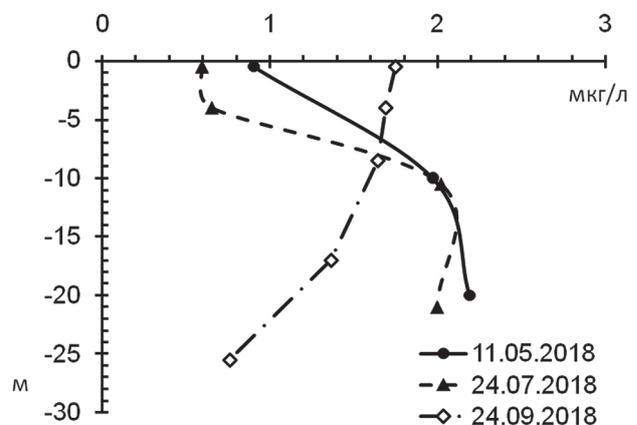


Рис. 2. Концентрация хлорофилла *a* в воде оз. Урозеро в 2018 г.

Fig. 2. The concentration of chlorophyll *a* in the water of Lake Urozero in 2018

дна. Весной и летом в условиях высокой прозрачности воды (10 м), высокой инсоляции (ясная, солнечная, штилевая погода) и отсутствия устойчивой температурной стратификации наблюдалось заглубление максимальных значений концентрации хлорофилла *a* в воде. Они обнаруживались в слоях, соответствующих одной и двум прозраčnostям воды, достигали 2 мкг/л и были в 2 и 3 раза выше, чем в верхнем слое, весной и летом соответственно. Медианная концентрация содержания хлорофилла в толще воды до глубины двух прозрачностей воды составила 2,0 мкг/л весной и 1,1 мкг/л летом. Осенью вертикальный профиль содержания хлорофилла *a* имел традиционный вид. Наиболее высокие и довольно однородные концентрации сохранялись в слое воды до глубины, соответствующей одной прозрачности воды, затем постепенно снижались, достигая минимального значения на глубине трех прозрачностей воды. Медиана концентрации хлорофилла *a* в слое до глубины

Продукционные характеристики фитопланктона оз. Урозеро в поверхностном слое воды (0,5 м)

Production characteristics of the phytoplankton of Lake Urozero in the surface layer of water (0,5 m)

Показатель Parameter	11.05.2018	24.07.2018	24.09.2018	Среднее Average
Прозрачность воды, м Water transparency, m	10,5	10,3	8,5	9,8
Фотосинтез, мкг С/л-сут Photosynthesis, $\mu\text{g C/l-day}$	11,5	20,3	34,5	22,1
Хлорофилл а, мкг/л Chlorophyll a, $\mu\text{g/l}$	0,9	0,6	1,7	1,2
САЧ, мкг С/мкг Chl Daily assimilation number, $\mu\text{g C}/\mu\text{g Chl}$	12,8	34,0	17,1	21,3
Биомасса фитопланктона, мкг С/л Phytoplankton biomass, $\mu\text{g C/l}$	65,0	14,0	16,9	31,9
Содержание хлорофилла а в биомассе, % Chlorophyll a content in biomass, %	0,1	0,4	1,0	0,5
Р/В-коэффициент, сут <sup>-1</sup> P/B factor, daily <sup>-1</sup>	0,18	1,4	2,0	1,2

двух прозрачностей воды составила осенью 1,7 мкг/л.

Содержание хлорофилла а в биомассе фитопланктона изменялось в широких пределах – от 0,1 до 2,9 % в сыром весе (рис. 3). Весной в толще воды его медианное значение достигало в среднем 0,33 %. Летом медианное содержание хлорофилла в фитопланктоне увеличилось в среднем до 0,48 %. В это время в сообществе возрастала доля летних диатомовых, криптофитовых, эвгленовых, сине-зеленых и понижалась доля динофитовых, в клетках которых содержится мало этого пигмента [Елизарова, 1993]. Максимальное количество хлорофилла в фитопланктоне содержалось осенью, медианное значение его в толще воды достигало 0,71 %. Такое увеличение определялось главным образом существенным возрастанием биомассы золотистых и особенно криптофитовых водорослей и их доли в сообществе. Криптофитовый планктон считается обильно наделенным хлорофиллом а [Елизарова, 1993].

#### Фотосинтез фитопланктона

Скорость фотосинтеза в поверхностном слое воды оз. Урозеро весной не достигала и 12 мкг С/л-сут, приближаясь к пределу чувствительности метода определения. Также низкими были характеристики удельного фотосинтеза – суточное ассимиляционное число (САЧ) и Р/В-коэффициент (см. табл.). Эти показатели являются очень чувствительными к изменению экологических условий [Михеева, 1977; Елизарова, 1993]. Слабая активность фотосинтеза отражала влияние на функционирование фитопланктона в верхнем слое воды комплекса неблагоприятных внешних факторов – низкой

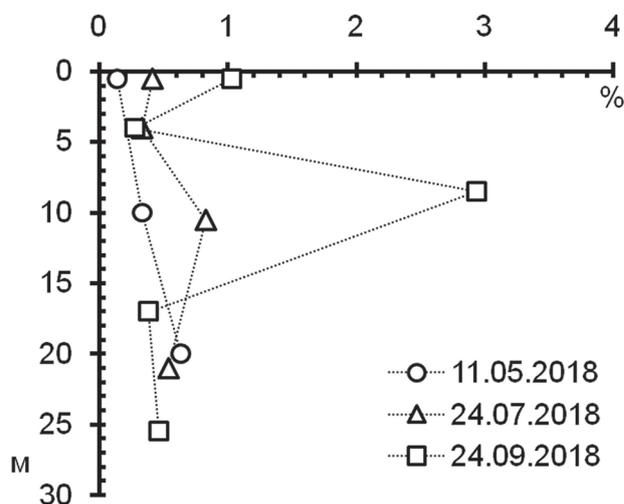


Рис. 3. Содержание хлорофилла а в сырой биомассе фитопланктона оз. Урозеро в 2018 г., %

Fig. 3. Chlorophyll a content in wet phytoplankton biomass of Lake Urozero in 2018, %

температуры воды (см. рис. 1), крайней обедненности фосфором и избыточной инсоляции при высокой прозрачности воды (см. табл.). Подобная низкая удельная активность фитопланктона отмечена и в других глубоких озерах с высокой прозрачностью воды – в оз. Байкал [Бульон, 1983], в Онежском озере весной [Теканова, 2004]. Судя по распределению содержания хлорофилла а в толще воды с максимальными величинами на глубине одной прозрачности 10,5 м (см. рис. 2), с учетом высокой прозрачности, крайне низкой цветности воды и безоблачной солнечной погоды можно предположить, что световое голодание водорослей в этом 10-метровом слое воды было незначительным. Поэтому интенсивность фотосинтеза на глубине 10,5 м вполне могла быть не ниже,

а возможно, и выше, чем в верхнем слое воды. Глубинные максимумы фотосинтеза и хлорофилла характерны для глубоких водоемов с очень высокой прозрачностью воды. Такое явление отмечено в монгольском оз. Хубсугул с прозрачностью 18 м [Кожова и др., 1975], в американском оз. Тахо с прозрачностью 25 м [Goldman, 1988]. В то же время это нетипично для водоемов Карелии, где воды характеризуются повышенной цветностью и слабой светопрозрачностью. Например, в Онежском озере весной в условиях высокой инсоляции подповерхностный максимум фотосинтеза наблюдался на глубине 1,0–2,0 м при прозрачности воды в это время 4–7 м [Теканова, 2004].

Летом, на фоне увеличения температуры воды, скорость фотосинтеза в верхнем слое воды оказалась в 2 раза выше, чем весной, – 20,3 мкг С/л·сут, однако тоже невелика (см. табл.). САЧ и Р/В-коэффициент также увеличились. Как и в мае, из-за избыточной инсоляции при высокой прозрачности воды оптимальные условия для фотосинтеза, возможно, складывались на глубине, равной прозрачности – 10,3 м (см. рис. 2).

Наибольшей величины скорость фотосинтеза в поверхностном слое воды достигала в осенний период, в 1,5 раза превышая летнее значение (см. табл.). Так как вертикальный профиль хлорофилла *a* осенью не имел глубинных пиков (см. рис. 2), максимальных величин фотосинтез достигал в поверхностном слое воды. Осенью Р/В-коэффициент достигал верхнего предела для незагрязненных водоемов, значение САЧ, наоборот, стало меньше.

#### Деструкция ОВ

Деструкция ОВ в оз. Урозеро изменялась в период исследований от 10 до 126 мкг С/л·сут (рис. 4). Весной в верхнем слое воды скорость деструкции была очень низка. Верхний 5-метровый слой воды был беден планктоногенным ОВ вследствие угнетения фитопланктона избыточной инсоляцией (см. рис. 2). На глубине, равной одной прозрачности воды (10,5 м), величина деструкции ОВ возросла в 3 раза и максимального значения достигла в 1 метре от дна, на глубине, равной тройной прозрачности воды. В этом же слое воды наблюдались высокие концентрации хлорофилла *a*. Кроме того, у дна, видимо, концентрировалось автохтонное ОВ, в том числе бентосного происхождения. Донные отложения в это время имели зеленоватую окраску. Сходная картина вертикального распределения величин деструкции ОВ, повторяющая распределение по глубине

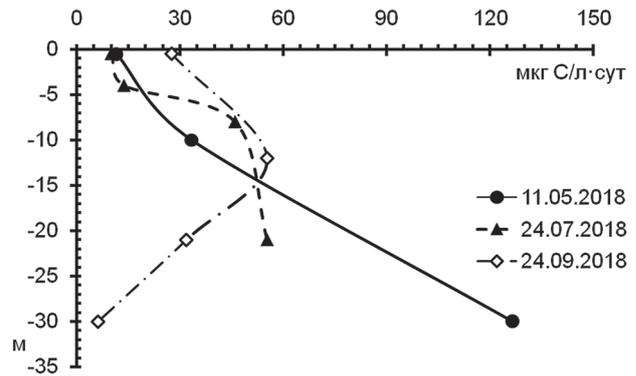


Рис. 4. Деструкция органического вещества в воде оз. Урозеро в 2018 г.

Fig. 4. Destruction of organic matter in the water of Lake Urozero in 2018

хлорофилла *a*, наблюдалась и летом в условиях безоблачной солнечной погоды. Максимальные скорости деструкции отмечались при возрастании концентрации хлорофилла в воде и процента его содержания в биомассе фитопланктона (см. рис. 2, 3) – на нижней границе эпилимниона (8 м) и в слое двойной прозрачности воды. Осенью максимальные величины деструкции ОВ, как и хлорофилла *a*, отмечались в пределах 12-метрового слоя эпилимниона (см. рис. 2). Средневзвешенная в толще воды скорость деструкции ОВ составляла весной 27,3 мкг С/л·сут, летом – 40,2 мкг С/л·сут и осенью – 20,2 мкг С/л·сут.

#### Заключение

Таким образом, показатели активности первично-продукционного процесса (скорость фотосинтеза, содержание хлорофилла *a* в фитопланктоне, Р/В-коэффициенты, САЧ) указывают на сохранение природного ультраолиготрофного состояния экосистемы оз. Урозеро [Бульон, 1993б; Китаев, 2007] в течение последних 25 лет. Выявлено нетипичное для водоемов Карелии распределение в толще воды хлорофилла *a*. При высокой прозрачности воды в периоды избыточной инсоляции максимальные концентрации хлорофилла *a* приурочены к глубине, равной одной прозрачности воды. Деструкционные процессы в озере базируются на автохтонном ОВ. Неизменно высокая прозрачность озерной воды на протяжении длительного времени подтверждает отсутствие влияния на водную экосистему аллохтонного ОВ. Сохранению природного экологического состояния и высокой рекреационной ценности оз. Урозеро в современных условиях способствуют отсутствие речного притока и значимой антропогенной нагрузки.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).

## Литература

Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.

Бульон В. В. Радиоуглеродный метод определения первичной продукции, его возможности и ограничения по сравнению с кислородным методом // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993а. С. 14–20.

Бульон В. В. Первичная продукция и трофическая классификация водоемов // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. СПб.: Наука, 1993б. С. 147–158.

ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: Изд-во стандартов, 1990.

Гутельмахер Б. Л. Метаболизм планктона как единого целого. Л.: Наука, 1986. 155 с.

Елизарова В. А. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 126–131.

Ильмаст Н. В., Кучко О. П., Милянчук Н. П. Водные экосистемы особо охраняемых природных территорий Карелии // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 6. С. 299–303.

Калинкина Н. М., Филатов Н. Н., Теканова Е. В., Балаганский А. Ф. Многолетняя динамика стока железа и фосфора в Онежское озеро с водами р. Шуя в условиях климатических изменений // Региональная экология. 2018. Т. 52, № 2. С. 65–73. doi: 10.30694/1026-5600-2018-2-65-73

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

Кожова О. М., Загоренко Г. Ф., Максимов В. Н. Первичная продукция пелагиали озера Хубсугул (МНР) // Гидробиол. журн. 1975. Т. 11, № 3. С. 5–9.

Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 285 с.

Михеева Т. М. О показателях удельной активности фитопланктона и некоторых причинах, их опре-

деляющих // Гидробиол. журн., 1977. Т. 13, № 3. С. 11–16.

Назарова Л. Е. Атмосферные осадки в Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 9. С. 114–120. doi: 10.17076/lim56

Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия / Под ред. П. А. Лозовика, В. А. Фрейдлинга. Петрозаводск: Карелия, 1991. 211 с.

Теканова Е. В. Первичная продукция Онежского озера в современных условиях: Дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2004. 150 с.

Теканова Е. В., Калинкина Н. М., Кравченко И. Ю. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 1. С. 90–100. doi: 10.7868/S2587556618010083

Теканова Е. В., Кравченко И. Ю., Потахин М. С., Богданова М. С. Анализ природных факторов формирования биологической продуктивности водоемов в разных ландшафтах Карелии // Принципы экологии. 2017. № 2. С. 61–69. doi: 10.15393/j1.art.2017.5802

Филатов Н. Н. Изменения климата Восточной Финноскандии и уровня воды крупнейших озер Европы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1997. 147 с.

Efremova T. V., Palshin N. I., Belashev B. Z. Water temperature in different types of lakes in Karelia under changing climate based on data of instrumental measurements in 1953–2011 // Water Resources. 2016. Vol. 43, no. 2. P. 402–411. doi: 10.7868/S0321059616020024

Efremova T., Palshin N., Zdorovenkov R. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes // Est. J. Earth Sci. 2013. Vol. 62, no. 1. P. 33–41. doi: 10.3176/earth.2013.04

Goldman C. R. Primary productivity, nutrients, and transparency during the early onset of eutrophication in ultra-oligotrophic Lake Tahoe, California-Nevada // Limnol. Oceanogr. 1988. Vol. 33, no. 6, part 1. P. 1321–1333.

Lozovik P. A. Geochemical classification of surface waters in humid zone based on their acid-base equilibrium // Water Resources. 2013. Vol. 40, no. 6. P. 631–639. doi: 10.1134/S0097807813060067

Поступила в редакцию 24.01.2019

## References

Bul'on V. V. Pervichnaya produktsiya planktona vnutrennikh vodoemov [Primary production of plankton in inland waters]. Leningrad: Nauka, 1983. 150 p.

Bul'on V. V. Radiouglerodnyi metod opredeleniya pervichnoi produktsii, ego vozmozhnosti i ogranicheniya po sravneniyu s kislородnym metodom [Radiocarbon method of determining the primary production, its capabilities and limitations compared to the oxygen method]. *Metod. vopr. izuch. pervichnoi produktsii planktona vnutr. vodoemov* [Methodical issues of study-

ing the primary production of plankton in inland waters]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993a. P. 147–158.

Bul'on V. V. Pervichnaya produktsiya i troficheskaya klassifikatsiya vodoemov [Primary production and trophic classification of water bodies]. *Metod. vopr. izuch. pervichnoi produktsii planktona vnutr. vodoemov* [Methodical issues of studying the primary production of plankton in inland waters]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993b. P. 14–21.

Elizarova V. A. Khlороfill kak pokazatel' biomassy fitoplanktona [Chlorophyll as an indicator of phytoplankton biomass]. *Metod. vopr. izuch. pervichnoi produktsii planktona vnur. vodoemov* [Methodical issues of studying the primary production of plankton in inland waters]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993. P. 126–131.

Filatov N. N. Izmeneniya klimata Vostochnoi Fennoskandii i urovnya vody krupneishikh ozer Evropy [Climate change and variability of Eastern Fennoscandia and water level fluctuations of largest lakes of Europe]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1997. 147 p.

GOST 17.1.4.02-90. Voda. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlороfillsa a [GOST (State standard) 17.1.4.02-90. Water. Methods for the spectrophotometric determination of chlorophyll a]. Moscow: Izd-vo standartov, 1990.

Gutel'makher B. L. Metabolizm planktona kak edinoغو tselogo [Metabolism of plankton as a whole]. Leningrad: Nauka, 1986. 155 p.

Il'mast N. V., Kuchko O. P., Milyanchuk N. P. Vodnye ekosistemy osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii Karelii [Water ecosystems of specially protected natural areas of Karelia]. *Izvestiya Samarskogo nauch. tsentra RAN* [Izvestia of Samara Sci. Center of the Russ. Acad. of Sci.]. 2015. Vol. 17, no. 6. P. 299–303.

Kalinkina N. M., Filatov N. N., Tekanova E. V., Baganskii A. F. Mnogoletnyaya dinamika stoka zheleza i fosfora v Onezhskoe ozero s vodami r. Shuya v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii [Long-term dynamics of iron and phosphorus runoff into Lake Onega with Shuya River under climate change conditions]. *Regional'naya ekol.* [Regional Ecol.]. 2018. Vol. 52, no. 2. P. 65–73. doi: 10.30694/1026-5600-2018-2-65-73

Kitaev S. P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtologov [Basics of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 395 p.

Kozhova O. M., Zagorenko G. F., Maksimov V. N. Pervichnaya produktsiya pelagialii ozera Hubsugul (MNR) [Primary production of Pelagial Lake Hubsugul (MPR)]. *Gidrobiol. zhurn.* [Hydrobiol. J.]. 1975. Vol. 11, no. 3. P. 5–9.

Kuznetsov S. I., Dubinina G. A. Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov [Methods for studying water microorganisms]. Moscow: Nauka, 1989. 285 p.

Mikheeva T. M. O pokazatelyakh udel'noi aktivnosti fitoplanktona i nekotorykh prichinakh, ikh opredelyayushchikh [On the indicators of specific activity of phytoplankton and some reasons for their determination]. *Gidrobiol. zhurn.* [Hydrobiol. J.]. 1977. Vol. 13, no. 3. P. 11–16.

Nazarova L. E. Atmosferynye osadki v Karelii [Precipitation over the territory of Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 9. P. 114–120. doi: 10.17076/lim56

Ozera Karelii. Spravochnik [Lakes of Karelia. Reference book]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. 464 p.

Poverkhnostnye vody ozerno-rechnoi sistemy Shui v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya [Surface waters of the Shuya lake-river system under anthropogenic impact]. Petrozavodsk: Kareliya, 1991. 211 p.

Tekanova E. V. Pervichnaya produktsiya Onezhskogo ozera v sovremennykh usloviyakh [Primary production of Lake Onega in modern conditions]: PhD (Cand. of Biol.) thesis. St. Petersburg, 2004. 150 p.

Tekanova E. V., Kalinkina N. M., Kravchenko I. Yu. Geokhimicheskie osobennosti funktsionirovaniya bioty v vodoemakh Karelii [Geochemical peculiarities of biota functioning in water bodies of Karelia]. *Izv. RAN. Ser. geogr.* [Regional Research of Russia]. 2018. No. 1. P. 90–100. doi: 10.7868/S2587556618010083

Tekanova E. V., Kravchenko I. Yu., Potakhin M. S., Bogdanova M. S. Analiz prirodnykh faktorov formirovaniya biologicheskoi produktivnosti vodoemov v raznykh landshaftakh Karelii [Analysis of the natural factors of biological productivity of water bodies in the different landscapes of Karelia]. *Printsipy ekol.* [Principles of the Ecol.]. 2017. Vol. 6, no. 2. P. 61–69. doi: 10.15393/j1.art.2017.5802

Efremova T. V., Pal'shin XN. I., Belashev B. Z. Water temperature in different types of lakes in Karelia under changing climate based on data of instrumental measurements in 1953–2011. *Water Resources.* 2016. Vol. 43, no. 2. P. 402–411. doi: 10.7868/S0321059616020024

Efremova T., Palshin N., Zdorovenov R. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes. *Est. J. Earth Sci.* 2013. Vol. 62, no. 1. P. 33–41. doi: 10.3176/earth.2013.04

Goldman C. R. Primary productivity, nutrients, and transparency during the early onset of eutrophication in ultra-oligotrophic Lake Tahoe, California-Nevada. *Limnol. Oceanogr.* 1988. Vol. 33, no. 6, part 1. P. 1321–1333.

Lozovik P. A. Geochemical classification of surface waters in humid zone based on their acid-base equilibrium. *Water Resources.* 2013. Vol. 40, no. 6. P. 631–639. doi: 10.1134/S0097807813060067

Received January 24, 2019

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### Теканова Елена Валентиновна

старший научный сотрудник, к. б. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: etekanova@mail.ru  
тел.: (8142) 576520

## CONTRIBUTOR:

### Tekanova, Elena

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: etekanova@mail.ru  
tel.: (8142) 576520