

УДК 597.2/.5:574.583:574.523(282.247.211)

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗООПЛАНКТОНЕ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

М. Т. Сярки¹, Ю. Ю. Фомина²

¹ Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

² Карельское отделение ГосНИОРХ

Зоопланктон является важным звеном экосистемы Онежского озера, участвует в формировании биоресурсов озера, и его показатели входят в систему биомониторинга. Изучение сезонных изменений в планктоне стало актуальным в связи с изменением климата и температурного режима озера в последние десятилетия. На основе данных за последние 30 лет дана среднесезонная характеристика сезонов по составу и структуре зоопланктона. Исследуется связь сезонной динамики структуры зоопланктонного сообщества Петрозаводской губы Онежского озера с гидрологическим и температурным режимом.

Ключевые слова: сезонная динамика, структура зоопланктона, сезонные состояния.

M. T. Syarki, Yu. Yu. Fomina. SEASONAL CHANGES IN ZOOPLANKTON IN PETROZAVODSK BAY OF LAKE ONEGA

Zooplankton is an important element of Lake Onega ecosystem, it plays a significant role in the formation of lake biological resources and its characteristics are included in the state biomonitoring system. The study of seasonal changes in plankton became urgent due to the changes in climate and temperature regime observed in recent decades. Mean annual characteristics of seasonal changes in the composition and structure of zooplankton are described based on 30 years of research. The relationship between seasonal changes in zooplankton structure and hydrological and temperature conditions in Petrozavodsk Bay of Lake Onega are presented.

Key words: seasonal dynamics, zooplankton structure, seasonal conditions.

Введение

Онежское озеро, одно из великих озер Европы, на большей части акватории имеет свой естественный природный статус, что вызывает повышенное внимание к изучению его современного состояния и сохранению уникальных свойств в будущем [Онежское озеро..., 2010; Ladoga..., 2010]. Петрозаводская губа – один из наиболее крупных заливов озера, является

источником питьевого водоснабжения г. Петрозаводска и находится под влиянием его сточных вод и поверхностного стока.

Зоопланктон Онежского озера, в том числе и Петрозаводской губы, изучался с первой половины прошлого века, и в настоящее время достаточно хорошо известен его состав, виды-доминанты, общие количественные характеристики, продукционно-деструкционные показатели и биоресурсный потенциал кормовой базы рыб

[Николаев, 1972; Филимонова, 1974; Куликова и др., 1997; Сярки, 2008]. Но в связи с отсутствием подробных сезонных и многолетних съемок недостаточно хорошо изучена фенология и изменчивость планктонного сообщества по сезонам. Известно, что климатические изменения и экстремальные погодные явления могут приводить к сдвигам как основных гидрологических явлений [Winder, Schindler, 2004; Филатов и др., 2012], так и сезонной сукцессии планктона, а также к десинхронизации жизненных циклов зоопланктона и рыб [Adrian et al., 2006; Wagner et al., 2013; Winder, Schindler, 2004]. Кроме того, цикличность (сезонность) необходимо учитывать в оценке состояния экосистемы [Рекомендации..., 2012]. В связи с этим становится актуальным изучение годовой цикличности и сезонной изменчивости в планктоне озера, а также связи сезонной динамики с основными гидрологическими явлениями.

Цель данной работы – исследовать сезонную изменчивость зоопланктона, его состав, количественные показатели, а также связь планктонного сообщества с основными гидрологическими и термическими явлениями в Петрозаводской губе Онежского озера.

Материалы и методы

Петрозаводская губа расположена на северо-западе озера. Длина залива составляет 19 км, средняя ширина – 7 км, площадь водной поверхности – около 125 км², средняя глубина – 18,2 м. Лед покрывает акваторию в среднем 143 суток [Онежское озеро..., 2010]. В безледный период морфометрия губы обеспечивает хорошее перемешивание и водообмен с озерной частью. Показатели планктона характеризуют систему залива как β-мезотрофную [Тимакова и др., 2011].

Основой для работы послужили данные комплексных гидробиологических съемок Института водных проблем Севера с 1980-х по 2010 г., а также фондовые и литературные данные. Для более подробного исследования зимнего состояния сообщества проведены дополнительные подледные съемки в 2010–2012 г. (февраль, март, апрель). Отбор и камеральная обработка материала производились стандартными методами [Методические рекомендации..., 1984]. Лов зоопланктона осуществлялся планктонной сетью Джели (с диаметром отверстий 50 и 125 мкм). При вычислении биомассы зоопланктона использовались размеры и значения индивидуального веса, рассчитанные для Онежского озера [Куликова, Сярки, 1994]. Для получения среднемноголетних траекторий се-

зонной динамики величин данные ранжировались по показателю сезонности (сутки с начала года) и сглаживались с помощью метода скользящих средних в модификации двойного сглаживания [Сярки, 2013]. Данная модификация применяется при анализе нерегулярных рядов. Этот метод позволяет получить плавные кривые без временных сдвигов, при усреднении не только значений функции, но и их аргументов, в нашем случае – показателей сезонности или суток с начала года.

Результаты и обсуждение

Многолетнее изучение годовой цикличности зоопланктона показало, что по количественным показателям, составу и структуре в Онежском озере выделяется пять основных сезонов: весенний, раннелетний, позднелетний, осенний и зимний (подледный) [Куликова и др., 1997; Сярки, 2008].

Зимой в подледный период складываются особые, не благоприятные для жизни планктона условия. Отсутствие света, корма и низкие температуры вынуждают большую часть видов пережить зиму в неактивном состоянии (покоящиеся яйца на дне, диапауза на различных стадиях и т. д.), поэтому зоопланктон в это время крайне малочислен (табл.). С февраля по апрель планктон представлен несколькими видами. Постоянно отмечаются взрослые веслоногие рачки *Limnocalanus macrurus* (Sars, 1863), *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), иногда встречается *Cyclops abyssorum abyssorum* (Sars, 1863). С апреля в планктоне появляются многочисленные науплии веслоногих рачков. Всю зиму в нем присутствуют мелкие коловратки, круглогодично встречающаяся *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) и зимняя *Keratella hiemalis* (Carlin, 1943). Ветвистоусые в это время представлены редкими единичными особями *Daphnia cristata* (Sars, 1862) и *Bosmina* (*E.*) *cf. longispina* (Leydig, 1860).

Анализ сезонной изменчивости зоопланктона показал, что его сезонные состояния различаются по соотношению его основных таксономических групп (рис.).

Весенний период начинается после схода ледяного покрова в первой декаде мая, и до прохождения термобара в начале июня в планктоне больших изменений не наблюдается. Только при переходе поверхностной температуры воды через 4 °С начинаются процессы активного размножения коловраток. В этот период в Петрозаводской губе отмечается максимальная интенсивность первичной продукции [Тимакова и др., 2011] и самые высокие в году

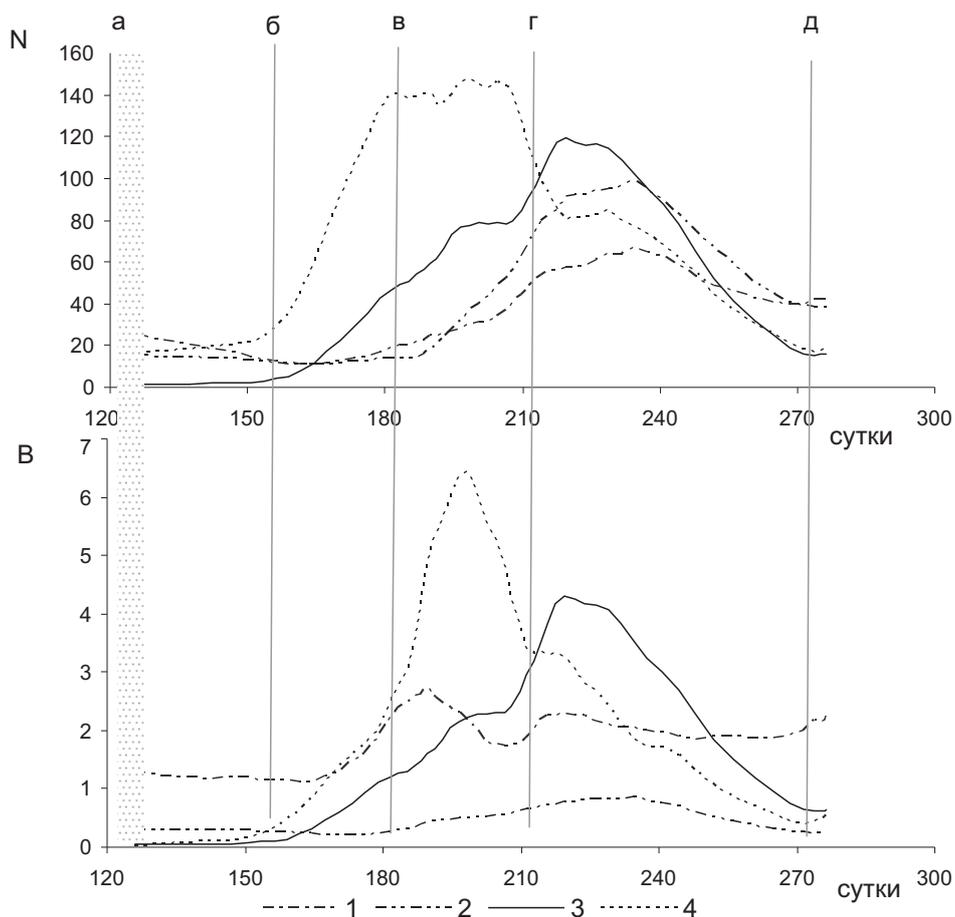
Основные показатели зоопланктона по сезонам

Сезон	Количество постоянных видов (ракообразные/коловратки)	Численность, тыс. экз./м ³	Биомасса, г/м ³
Зимний	3/2	0,2–0,5	0,01–0,02
Весенний	9/5	1,0–6,0	0,02–0,20
Раннелетний	12/8	5,0–18,0	0,10–0,80
Позднелетний	14/4	15,0–20,0	0,50–1,00
Осенний	10/3	2,0–15,0	0,05–0,50

биомассы фитопланктона, который на 90 % представлен крупной диатомовой водорослью *Aulacosia islandica* (O. Müller) [Вислянская, 1999]. Большинство планктонов не могут потреблять столь крупные пищевые объекты, основной поток органического вещества в этот период проходит через звено бактериопланктона и простейших и только затем становится доступным для тонких фильтраторов, коловраток и науплий [Куликова и др. 1997]. В июне начинается быстрый рост численности коло-

враток, и к концу его коловратки составляют до 70 % общей численности. Доля веслоногих в биомассе в этот период возрастает за счет роста копеподитных стадий рачка *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863).

В первой декаде июля поверхностные слои воды нагреваются выше 10 °С, и наступает период «биологического лета», который соответствует раннелетней фазе цикла. В это время в зоопланктоне по численности доминируют коловратки. К середине июля развива-



Среднегголетние траектории сезонного изменения численности (N, тыс. экз./м³) и биомассы (B, г/м³) основных групп зоопланктона в столбе воды Петрозаводской губы Онежского озера.

1 – *Calaniformes*, 2 – *Cyclopiformes*, 3 – *Cladocera*, 4 – *Rotifera*

а – лед, б – переход температуры воды в слое 0,5 м через 4 °С, в – переход температуры воды через 10 °С, г – среднегголетний максимум температуры воды, д – переход температуры воды через 10 °С

ется крупная коловратка *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), что ведет к увеличению роли коловраток и в сырой биомассе зоопланктона (до 60 % общей биомассы). Доля веслоногих рачков в этот период по численности мала (до 10–20 %). За июль количество ветвистоусых ракообразных постепенно возрастает от 15 до 35 % общей численности и биомассы.

Начало позднелетнего периода отмечает максимальный прогрев поверхностных слоев воды, который наблюдается в конце июля – начале августа. В этот период происходит массовое развитие мелких зеленых и золотистых водорослей [Вислянская, 1999], являющихся кормом эффективных фильтраторов – кладоцер. Именно в это время отмечается максимальная плотность зоопланктона (численность до 20 тыс. экз./м³ и биомасса до 1,0 г/м³) и происходят заметные изменения в структуре. С середины июля показатели коловраток снижаются, а кладоцер – увеличиваются, и в результате их количество сравнивается в начале августа. Именно в этот период отмечается среднегодовой максимум температуры поверхностного слоя воды (см. рис.). В дальнейшем лидирующую роль по численности и биомассе играют ветвистоусые ракообразные. В массе развиваются *Daphnia cristata* (Sars, 1862) и *Daphnia (Daphnia) longispina* (Müller, 1785), *Bosmina (E.) longispina* (Leydig, 1860). Растет количество копеподитов и взрослых веслоногих рачков, в том числе *Heterocope appendiculata* (Sars, 1863) и *Eurytemora lacustris* (Poppe, 1887). Значительно возрастает количество мелких циклопов *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) и *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863).

Во второй половине августа начинаются шторма, на фоне вертикального перемешивания вод происходит постепенное и плавное снижение количественных показателей зоопланктона (с 15 до 3 тыс. экз./м³ по численности и с 0,40 до 0,15 г/м³). В сентябре начинается осенний период, характеризующийся преобладанием веслоногих над остальными группами зоопланктона. В конце сентября – начале октября может отмечаться небольшой осенний подъем численности коловраток. К началу ноября структура сообщества становится сходной со структурой зоопланктона в зимней фазе, преобладающей группой являются веслоногие рачки.

Сравнение структуры летнего зоопланктона Петрозаводской губы с сообществами центральной части озера показало, что она значительно отличается в сторону увеличения роли коловраток и мелких циклопов [Куликова и др., 1997], что объясняется нестабиль-

ностью условий, высокой динамичностью вод, а также влиянием стока р. Шуи и близостью г. Петрозаводска.

Выводы

Сезонная цикличность зоопланктона согласована с основными гидрологическими и термическими явлениями (сходом льда, периодом «биологического лета», максимальным прогревом). В среднем активная фаза развития зоопланктона продолжается 4 месяца (с первой декады июня по конец сентября) с максимальными показателями в начале августа.

Сезонные различия в состоянии зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера четко определяются его структурой или соотношением основных таксономических групп сообщества. Сезонная структура сообщества зоопланктона должна учитываться при биоиндикации состояния экосистемы Онежского озера и ее возможных изменений при действии климатического и антропогенного факторов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14–17–00766).

Литература

- Вислянская И. Г. Структура и динамика биомассы фитопланктона / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. С. 146–158.
- Куликова Т. П., Кустовлянкина Н. Б., Сярки М. Т. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1997. 112 с.
- Куликова Т. П., Сярки М. Т. Размерно-весовая характеристика массовых видов ракообразных и коловраток Онежского озера (справочно-информационный материал). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1994. 16 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ. 1984. 33 с.
- Николаев И. И. Сравнительно-лимнологическая характеристика зоопланктона Онежского озера / Ред. И. И. Николаев. Л.: Наука, 1972. С. 283–304.
- Онежское озеро. Атлас / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 151 с.
- Рекомендации. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ ГХИ. 2012. 22 с.
- Сярки М. Т. Изучение траектории сезонной динамики планктона с помощью метода двойного сглаживания // Принципы экологии. 2013. № 1 (5). С. 61–67.

Сярки М. Т. Оценка рыбопродуктивности по состоянию кормовой базы. Зоопланктон / Ред. В. И. Кухарев, А. А. Лукин. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. С. 54–67.

Тимакова Т. М., Сабылина А. В., Полякова Т. Н., Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. Современное состояние экосистемы Онежского озера и тенденции ее изменения за последние десятилетия // Водные проблемы Севера и пути их решения. Тр. Карельского научного центра РАН. 2011. № 4. С. 42–49.

Филатов Н. Н., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Семенов А. В., Анциферова А. Р., Ожигина В. Н., Богдан М. И. Изменения и изменчивость климата европейского Севера России и их влияние на водные объекты // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2 (6). С. 80–93.

Филимонова З. И. Зоопланктон Петрозаводской губы Онежского озера / Ред. Г. В. Козлова, А. В. Щемелева. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1974. С. 212–247.

Adrian R., Wilhelm S., Gerten D. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming // *Global Change Biology*. 2006. Vol. 12. P. 652–661.

References

Filatov N. N., Nazarova L. E., Georgiev A. P., Semenov A. V., Antsiferova A. R., Ozhigina V. N., Bogdan M. I. Izmeneniya i izmenchivost' klimata evropeiskogo Severa Rossii i ikh vliyanie na vodnye ob'ekty [Climate changes and variability in European north of Russia and their effect on water bodies]. *Arktika: ekologiya i ekonomika [Arctic region: ecology and economy]*. 2012. № 2 (6). S. 80–93.

Filimonova Z. I. Zooplankton Petrozavodskoi guby Onezhskogo ozera [Zooplankton in Petrozavodsk Bay of Lake Onega]. Red. G. V. Kozlova, A. V. Shchemel'eva. Petrozavodsk: Karel'skii filial AN SSSR. 1974. S. 212–247.

Kulikova T. P., Kustovlyankina H. B., Syarki M. T. Zooplankton kak komponent ekosistemy Onezhskogo ozera [Zooplankton as a component of Lake Onega ecosystem]. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 1997. 112 s.

Kulikova T. P., Syarki M. T. Razmerno-vesovaya kharakteristika massovykh vidov rakoobraznykh i kolovratok Onezhskogo ozera (spravochno-informatsionnyi material) [Size-weight characteristics of dominant crustaceans and rotifers in Lake Onega (reference source)]. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 1994. 16 s.

Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov v gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktsiya [Methodological recommendations for collecting and processing data in hydrobiological studies of freshwater reservoirs. Phytoplankton and its products]. Red. G. G. Vinberg, G. M. Lavrent'eva. Leningrad: GosNIORKh. 1984. 33 s.

Nikolaev I. I. Sravnitel'no-limnologicheskaya kharakteristika zooplanktona Onezhskogo ozera [Comparative

Ladoga and Onego Great European Lakes. Observations and Modelling / Eds. L. Rukhovets, N. Filatov. London: Springer-Praxis, 2010. 302 p.

Thackeray S. J., Sparks T. H., Frederiksen M., Burthe S., Bacon P. J., Bell J. R., Botham M. S., Brerton T. M., Bright P. W., Carvalho L., Clutton-Brock T., Dawson A., Edeards M., Elliott J. M., Harrington R., Johns D., Jones I. D., Jones J. T., Leech D. I., Roy D. B., Scott W. A., Smith M., Smithers R. J., Winfield I. J., Wanless S. S. Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments // *Global Change Biology*. 2010. Vol. 16. P. 3304–3313. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02165.x

Wagner A., Hülsmann S., Horn W., Schiller T., Schulze T., Volkmann S., Benndorf J. Food-web-mediated effects of climate warming: consequences for the seasonal Daphnia dynamics // *Freshwater Biology*. 2013. Vol. 58. P. 573–587.

Winder M., Schindler D. E. Climatic effects on the phenology of lake processes // *Global Change Biology*. 2004. Vol. 10., Is. 11. P. 1844–1856.

Поступила в редакцию 17.12.2013

and limnological characteristics of Onega Lake zooplankton]. Red. I. I. Nikolaev. Leningrad: Nauka, 1972. S. 283–304.

Onezhskoe ozero. Atlas [Lake Onega. Atlas]. Red. N. N. Filatov. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2010. 151 s.

Rekomendatsii. Otsenka sostoyaniya presnovodnykh ekosistem po kompleksu khimiko-biologicheskikh pokazatelei [Assessment of freshwater ecosystems according to complex biochemical indicators]. Rostov-na-Donu: Rosgidromet, FGBU GKhl. 2012. 22 s.

Syarki M. T. Izuchenie traektorii sezonnoi dinamiki planktona s pomoshch'yu metoda dvoynogo sglazhivaniya [Study of seasonal dynamics of plankton trajectories using double-smoothing method]. *Printsipy ekologii [Principles of Ecology]*. 2013. № 1 (5). S. 61–67.

Syarki M. T. Otsenka ryboproduktivnosti po sostoyaniyu kormovoi bazy. Zooplankton [Assessment of fish productivity on the basis of forage resources]. Red. V. I. Kukharev, A. A. Lukin. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2008. S. 54–67.

Timakova T. M., Sabylina A. V., Polyakova T. N., Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzheva T. A. Sovremennoe sostoyanie ekosistemy Onezhskogo ozera i tendentsii ee izmeneniya za poslednie desyatletiya [Modern state of Onega Lake ecosystem and trends of its change during the past decades]. *Vodnye problemy severa i puti ikh resheniya. Tr. Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN [Water problems of the North and their solution. Proceedings of KarRC RAS]*. 2011. № 4. S. 42–49.

Vislyanskaya I. G. Struktura i dinamika biomassy fitoplanktona [Structure and dynamics of phytoplankton biomass]. Red. N. N. Filatov. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN. 1999. S. 146–158.

Adrian R., Wilhelm S. and Gerten D. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming. *Global Change Biology*. 2006. Vol. 12. P. 652–661.

Ladoga and Onego Great European Lakes. Observations and Modelling. Eds. L. Rukhovets, N. Filatov. London: Springer-Praxis, 2010. 302p.

Thackeray S. J., Sparks T. H., Frederiksen M., Burthe S., Bacon P. J., Bell J. R., Botham M. S., Brereton T. M., Bright P. W., Carvalho L., Clutton-Brock T., Dawson A., Edeards M., Elliott J. M., Harrington R., Johns D., Jones I. D., Jones J. T., Leech D. I., Roy D. B., Scott W. A., Smith M., Smithers R. J., Winfield I. J., Wanless S. S. Trophic level asynchrony in rates of phe-

nological change for marine, freshwater and terrestrial environments. *Global Change Biology*, 2010, Vol. 16. P. 3304–3313. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02165.x

Wagner A., Hülsmann S., Horn W., Schiller T., Schulze T., Volkmann S., Benndorf J. Food-web-mediated effects of climate warming: consequences for the seasonal Daphnia dynamics. *Freshwater Biology*. 2013. Vol. 58. P. 573–587.

Winder M., Schindler D. E. Climatic effects on the phenology of lake processes. *Global Change Biology*. 2004. Vol. 10. Issue 11. P. 1844–1856.

Received December 17, 2013

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Фомина Юлия Юрьевна

младший научный сотрудник
Карельское отделение Государственного
научно-исследовательского института
озерного и речного рыбного хозяйства
ул. Зайцева, 65, стр. 5, оф. 202, Петрозаводск,
Республика Карелия, Россия, 185026
тел.: (8142) 595511
эл. почта: rambler7780@rambler.ru

Сярки Мария Тагевна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185003
тел.: (8142) 576520
эл. почта: MSyarki@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Fomina, Yulia

Karelian Branch of State Inland Fisheries Research Institute
65 Zaitseva St., bld. 5, of. 202, 185026 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
tel.: (8142) 595511
e-mail: rambler7780@rambler.ru

Syarki, Maria

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