

УДК 574.586

РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ОЗЕР ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА КАК ИНДИКАТОРЫ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

© 2014 И.С. Трифонова, А.Л. Афанасьева, А.Г. Русанов, Е.В. Станиславская

Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 19.05.2014

По данным летних наблюдений 2010-2012 г. проведена оценка экологического состояния 20 разнотипных озер Карельского перешейка по гидрохимическим параметрам и структуре растительных сообществ (фитопланктону, перифитону, макрофитам). Оценены трофический статус озер и уровень их сапробности. По содержанию общего фосфора и хлорофилла «а» трофический статус исследованных озер колеблется от олиготрофного до гипертрофного; большинство озер – мезотрофные. Увеличение биогенной нагрузки на озера приводит к увеличению биомассы фитопланктона и снижению его биоразнообразия. Выявлены изменения таксономического состава растительных сообществ в ряду увеличения эвтрофирования озер.

Ключевые слова: *озеро, эвтрофирование, фитопланктон, перифитон, макрофиты*

Расположенные вблизи мегаполиса Санкт-Петербурга многочисленные озера Карельского перешейка испытывают постоянный и все нарастающий антропогенный пресс. Многие из них подверглись интенсивному антропогенному эвтрофированию, показателем которого является увеличение биомассы фитопланктона и постоянное цветение воды в летний период, скопления нитчатых водорослей у берегов, исчезновение реликтовых организмов в результате ухудшения кислородного режима. В последние годы снова наметился рост антропогенного влияния в связи с ростом индивидуального строительства на берегах и рекреационной активности. Кроме того, многие малые озера фактически приватизированы и используются для частного рыборазведения, в результате чего их экосистемы полностью трансформируются. Все это вызывает необходимость мониторинга состояния озерных экосистем и качества их вод.

Институтом озероведения в течение многих лет проводились исследования озер Карельского перешейка [1-5]. В течение 50-ти лет проводился мониторинг озера Красного [6, 7]. Озера, входящие в группу Морозовских озёр в

1960-е гг. подвергались хозяйственному преобразованию с целью повышения их рыбопродуктивности и исследовались сотрудниками ГосНИОРХ [8].

Цель работы: оценка современного экологического состояния озер Карельского перешейка.

Материалы и методы. В июле 2009-2012 гг. Институтом озероведения проведено комплексное обследование 20 разнотипных озер центральной части Карельского перешейка. При сборе материалов использовали методики, разработанные ранее [4, 6]. Исследованные озера различаются по морфометрии, гидрологическим и гидрохимическим параметрам и уровню трофности (табл. 1). По содержанию $P_{\text{общ}}$ (26-38 мкг Р/л) и хлорофилла «а» в планктоне (4.5-28 мг/м³) большинство исследованных озер – мезотрофные [9].

Результаты и обсуждение. В фитопланктоне исследованных озер обнаружено 360 видов водорослей (401 таксон рангом ниже рода), относящихся к 9 отделам: Cyanophyta – 36, Euglenophyta – 25, Dinophyta – 11, Cryptophyta – 7, Raphidophyta – 2, Chrysophyta – 17, Bacillariophyta – 210, Xanthophyta – 3, Chlorophyta – 90. Во всех водоемах по числу таксонов доминировали диатомовые водоросли. Повсеместно встречались *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *T. flocculosa* (Roth.) Kütz., *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Aulacosira ambigua* (Grun.) Sim., *A. subarctica* (O. Müll.) Harworth, *A. granulata* (Ehr.) Sim. и многочисленные виды родов *Cyclotella* и *Stephanodiscus*. Среди

Трифорова Ирина Сергеевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: itrifonova@mail.ru

Афанасьева Анна Леонидовна, научный сотрудник. E-mail: afal359@mail.ru

Русанов Александр Геннадьевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: a_rusanov@yahoo.com

Станиславская Елена Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: stanlen@mail.ru

зеленых водорослей наиболее разнообразны хлорококковые (63 таксона). Почти во всех водоемах встречались *Botryococcus braunii* Kütz., *O. solitaria* Wittr., *Tetraedron minimum* (A. Br.) Hansg. и *S. quadricauda* (Turp.) Bréb. Среди десмидиевых наиболее разнообразны были роды *Closterium* и *Cosmarium*. В планктоне часто встречались *Staurostrum gracile* Ralfs и *Closterium acutum* (Lyngb.) Bréb. Синезеленые водоросли особенно разнообразны в планктоне эвтрофных озер. Наиболее обычны *A. lemmermanii* P. Richt., *A. viguieri* Denis et Frémy, *A.*

spiroides Kleb., *M. aeruginosa* (Kütz.) emend. Elenk., *Aphanizomenon flos-aqua* (L.) Ralfs и *Planctolyngbya limnetica* (Lemm.) Anagn. et Kom. Максимальное разнообразие и обилие золотистых водорослей зафиксировано в озерах Морозовской системы. Из эвгленовых наиболее распространены виды рода *Trachelomonas*. Максимальное число эвгленовых обнаружено в гипертрофном оз. Волочаевском – 22 таксона. В семи озерах развивалась рафидофитовая водоросль *Gonyostomum semen* Diesing.

Таблица 1. Лимнологическая характеристика озер

Озера	S, км ²	H, м	DS, м	pH	Цв., град.	БПК ₅ , мг О ₂ /л	P _{общ.} , мкг/л	Chl a, мг/м ³
Светлое	0,23	14,0	2,5-4,2	7,3-7,8	8-14	1,7-2,5	19-21	6,0
Жемчужное	0,70	5,0	1,0	7,3-8,8	15-28	1,1-2,4	31-34	8,2
Берестовое	0,24	22,0	3,0	7,7	21	0,7	8	5,3
Охотничье	0,07	13,0	1,0-1,3	5,3-6,8	50-92	2,8-3,7	21-27	10,0
М. Луговое	0,19	5,0	0,1-0,2	5,7-5,9	440-680	3,6-6,8	55-61	17,6
Б. Луговое	0,30	2,0	0,6	6,8	360	2,9	59	12,2
Медведевское	0,59	10,0	0,6-1,0	5,1-5,3	80-160	1,6-2,0	40-44	11,1
Красное	9,20	14,6	1,5-2,3	6,7-7,7	24-42	1,5-2,0	29-34	8,7
Нахимовское	14,20	22,0	2,5	8,0	25-28	1,4	28	5,9
Правдинское	6,90	15,5	1,0-1,2	7,4-7,5	54-72	2,4-7,5	34-36	11,7
Мичуринское	5,80	16,5	2,8-3,2	7,7-8,6	13-24	1,4-2,5	38-41	6,1
Узорное	0,15	16,0	2,0	7,9	32	1,4	8	16,3
Чернявское	0,65	5,0	1,0	7,0	75	1,1	21	11,1
Волынское	0,33	8,0	1,0	8,1	84	2,6	50	18,9
Борисовское	1,25	8,0	0,9-1,0	8,5-8,7	12-42	2,8-4,1	33-42	29,6
Б. Морозовское	1,10	3,1	0,4-0,6	7,6-8,4	80-84	2,5-5,0	54-64	64,6
Журавлевское	3,30	3,5	0,3-0,5	7,4-8,5	72-84	3,2-4,7	48-51	34,5
Волочаевское	3,50	2,0	0,4-0,6	6,5	105	6,0	61	119,0
Победное	2,00	2,0	0,4	10,0	70	7,6	162	66,6
Вишневское	10,50	3,5	0,2-0,3	9,1-9,3	35-72	7,8-8,2	138-165	121,7

Примечание: S – площадь озера, H – максимальная глубина, DS – прозрачность воды по диску Секки, Цв. – цветность воды, Chl a – концентрация хлорофилла «а»

Биомасса фитопланктона в разнотипных озерах колебалась от 1 г/м³ в оз. Светлом до 48 г/м³ в оз. Вишневском. В глубоководных мезотрофных оз. Мичуринском, Красном и Правдинском основу биомассы создавали диатомовые водоросли. В глубоководных слабomezотрофных оз. Охотничьем и Светлом биомасса определялась развитием рафидофитовых и золотистых. В мелководном слабomezотрофном оз. М. Луговом с высокой цветностью и низкой pH – золотистые или криптонады. В мелководных эвтрофных водоемах преобладали синезеленые водоросли (оз. Журавлевское и Б. Морозовское), диатомовые (оз. Волынское и Б. Луговое) и рафидофитовые (оз. Медведевское). В гипертрофных водоемах, где отмечался максимальный уровень развития фитопланктона, основу биомассы создавали: в оз. Волочаевском рафидофитовые и эвгленовые водоросли, в оз. Победном – зеленые (хлорококковые), в оз. Вишневском – сине-

зеленые. Озера Охотничье и Медведевское в 70-х гг. были кислыми олиготрофными, но в настоящий момент используются для рыборазведения. После известкования и удобрения в них значительно повысились цветность и содержание P_{общ.}. В планктоне обоих озер доминирует *Gonyostomum*, составляя от 60 до 90% биомассы. В полигуменном оз. М. Луговом более 60% биомассы фитопланктона создавали золотистые водоросли, 19% – диатомовые, 16,5% – зеленые.

Четко прослеживается прямая зависимость концентрации хлорофилла «а» от содержания фосфора в воде, установленная ранее для озер Карельского перешейка [2, 3]. По мере увеличения трофности увеличивается не только общая биомасса фитопланктона, но и доля в ней синезеленых и эвгленовых водорослей. В целом, по структуре и уровню биомассы фитопланктона оз. Вишневское и Волочаевское можно отнести к гипертрофным водоемам, Б. Морозовское и

Журавлевское – эвтрофные, Борисовское, Мичуринское и Медведевское можно считать слабо-эвтрофными, а остальные озера – мезотрофными [3, 9]. Анализ видового состава по спискам сапробных организмов [10] показал, что виды-индикаторы органического загрязнения составляли 75% от общего списка. Значения индекса сапробности по Пантле и Букк в модификации Сладечека [11] варьировали в пределах 1,7-2,4. Минимальные величины индекса отмечены в оз. Светлое и Нахимовское, где условия приближаются к олигосапробной зоне, в большинстве изученных озер показатели индекса были характерны для β-мезо-сапробной зоны. В целом, все исследованные водоемы по степени сапробности летнего фитопланктона относятся к III классу качества вод (удовлетворительной чистоты) и могут считаться слабо загрязненными.

В составе перифитона исследованных озер обнаружено 270 таксонов водорослей. Наиболее низкое таксономическое разнообразие водорослей отмечалось в полигуменных и гипертрофных озерах – 7-15 таксонов, в мезотрофных и эвтрофных озерах оно было выше – 15-35 таксонов, а наибольшим – 40-50 таксонов – в слабomezотрофных озерах. В изученных озерах структура биомассы определялась диатомовыми, зелеными и синезелеными водорослями. В слабomezотрофных оз. Светлом, Охотничьем, Узорном и Берестовом преобладали зеленые из родов *Bulbochaete*, *Mougeotia*, *Spirogyra*, *Zygnema*, *Oedogonium*, *Cosmarium*, *Euastrum*, *Micrasterias*, определяя 20-90% общей биомассы, и синезеленые водоросли из родов *Hapalosiphon*, *Rivularia*, *Calothrix*, *Nostoc*, вклад которых составлял 10-50%. Диатомовые водоросли из родов *Tabellaria*, *Eunotia*, *Diatoma* определяли 5-20% общей биомассы. В озерах с высокой цветностью воды и низкой pH М. Луговом, Б. Луговом и Медведевском структуру перифитона в равных количествах определяли диатомовые из родов *Eunotia* и *Tabellaria* и зеленые водоросли из родов *Stigeoclonium*, *Microspora*, *Klebsormidium*, *Micrasterias*, *Euastrum*. В мезотрофных оз. Нахимовском, Мичуринском, Красном, Правдинском, Жемчужном по биомассе преобладали диатомовые из родов *Fragilaria*, *Epithemia*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Melosira*, *Pinnularia*, определяя 25-80% общей биомассы. Зеленые водоросли в этих озерах были представлены в основном видами родов *Oedogonium*, *Bulbochaete*, вклад которых доходил до 50% общей биомассы. Роль синезеленых водорослей была незначительной – 1-25%, среди них преобладали таксоны родов *Gloeotrichia*, *Rivularia*, *Calothrix*. В эвтрофных оз. Чернявском, Волынском, Журавлевском, Б. Морозовском, возрастала роль диатомовых (до 60-90% биомассы) и снижалась зеленых (до 5-15%) и синезеленых (до 1-5%)

водорослей. В большинстве исследованных эвтрофных озерах преобладали таксоны родов *Ulmaria*, *Epithemia*, *Aulacosira*, *Fragilaria*, *Rhopalodia*, *Gomphonema*, *Nitzschia*. Зеленые были представлены видами родов *Oedogonium*, *Spirogyra*, а среди синезеленых преобладали виды из родов *Lyngbya*, *Oscillatoria* и *Phormidium*. В гипертрофных оз. Победном, Волочаевском и Вишневом вклад диатомовых был также высоким (50-90% биомассы), преобладали виды из родов *Cymbella*, *Aulacosira*, *Fragilaria*, *Amphora*. Зеленые водоросли были представлены таксонами родов *Oedogonium*, *Spirogyra*, а синезеленые – таксонами родов *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Anabaena*.

Биомасса перифитона в исследованных озерах изменялась от 5 до 300 мг/г субстрата. Наиболее высокой продуктивностью перифитона отличались слабomezотрофные озера, где средняя биомасса составляла около 80 мг/г субстрата. В полигуменных водоемах наблюдалось снижение биомассы водорослей, в среднем до 30 мг/г, а в эвтрофных и мезотрофных биомасса была еще ниже – до 25 мг/г субстрата. В гипертрофных водоемах, где развитие перифитона лимитировалось низкой прозрачностью воды за счет массового развития фитопланктона, его биомасса самая низкая, в среднем – 10 мг/г субстрата. Индекс сапробности по Пантле и Букк в модификации Сладечека [11] в большинстве озер варьировал в пределах β-мезосапробной зоны (1,6-2,5). В оз. Светлом, Узорном, Берестовом М. Луговом, Медведевском, Жемчужном, Охотничьем, Нахимовском индекс сапробности был ниже (1,2-1,5), соответствуя олигосапробным условиям.

В видовом составе сообщества макрофитов и в характере зарастания озер прослеживается зависимость от их трофического статуса. Для растительности олиго-мезотрофных озер (оз. Жемчужное, Берестовое и Светлое) характерно развитие комплекса придонных растений-индикаторов чистых условий среды [12]: лобелии Дортманна (*Lobelia dortmanna* L.), прибрежницы одноцветковой (*Littorella uniflora* (L.) Aschers.), полушников озерного (*Isoetes lacustris* L.) и колючеспорого (*I. echinospora* Dur.). В олиго-мезотрофных озерах погруженная растительность, в состав которой кроме комплекса придонных растений входят рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.) и уруть очередноцветковая (*Myriophyllum alterniflorum* DC.), занимает площадь сравнимую с площадью воздушно-водной растительности. Гелофиты в основном представлены тростником и осоками острой (*Carex acuta* L.) и вздутой (*C. rostrata* Stokes). Растения с плавающими листьями играют незначительную роль в зарастании олиго-мезотрофных озер.

Для мезотрофных озер (оз. Мичуринское, Нахимовское, Красное, Узорное, Чернявское и Правдинское) характерно высокое видовое разнообразие погруженных макрофитов. В их состав входят рдесты пронзеннолистный, блестящий (*Potamogeton lucens* L.), злаколистный (*P. gramineus* L.) и альпийский (*P. alpinus* Balb.), шелковник дихотомический (*Batrachium dichotomum* (Schmalh.) Trautv.), уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum* L.), элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.). В мезотрофных светловодных озерах, таких как оз. Мичуринское, местами сохранились фрагменты фитоценозов низкорослых придонных растений-индикаторов чистых вод – шильницы водяной (*Subularia aquatica* L.) и прибрежницы одноцветковой. Среди макрофитов с плавающими листьями наибольшего распространения достигают рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.), кубышка желтая (*Nuphar lutea* (L.) Smith) и малая (*N. pumila* (Timm) DC.). Заросли воздушно-водной растительности в основном представлены тростником, камышом озерным (*Scirpus lacustris* L.) и хвощом приречным (*Equisetum fluviatile* L.).

В эвтрофных озерах (оз. Борисовское, Волыновское, Журавлевское, Большое Морозовское, Победное, Волочаевское и Вишневское) преобладают по площади воздушно-водные растения и растения с плавающими листьями. Прибрежный пояс воздушно-водной растительности наряду с тростником, хвощом и осоками часто образован зарослями рогоза широколистного (*Typha latifolia* L.). Низкотравные гелофиты также могут занимать значительную площадь: в оз. Волочаевском более половины площади дна занимают заросли водного риса (*Zizania aquatica* L.); в оз. Вишневском заиленные мелководья зарастают ежеголовником всплывающим (*Sparganium emersum* Rehm.). В эвтрофных озерах отмечается падение видового разнообразия погруженных макрофитов, представленных в основном изреженными зарослями рдеста пронзеннолистного на глубине и густыми зарослями элодеи канадской и роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.) на мелководье. Отличительной чертой озер с повышенной цветностью воды (оз. Медведевское, Охотничье, М. Луговое и Б. Луговое) является практически полное отсутствие погруженной водной растительности. Исключением является оз. Медведевское, где дно покрыто плотным ковром водного мха, а в прибрежной зоне встречается полужульница.

Выводы: оценка современного состояния 20 разнотипных озер центральной части Карельского перешейка показала, что по содержанию $R_{\text{общ}}$ и хлорофилла «а» в планктоне большинство исследованных озер – мезотрофные. Биомасса фитопланктона колебалась от 1,6 г/м³ до 48,5

г/м³, содержание хлорофилла «а» – от 4,1 мкг/л до 146 мкг/л. По мере увеличения трофности увеличивается общая биомасса фитопланктона, а также доля синезеленых и эвгленовых водорослей. В ряде эвтрофированных озер отмечено развитие рафидофитовых водорослей.

Биомасса перифитона снижалась в ряду увеличения трофического статуса озер. Наибольшая биомасса отмечена в слабomezотрофных озерах (в среднем 80 мг/г субстрата), а наименьшая – в эвтрофных (25 мг/г субстрата) и гипертрофных (10 мг/г субстрата). Наиболее низкое видовое разнообразие фитоперифитона отмечалось в гумифицированных озерах (5–8 таксонов), в мезотрофных и эвтрофных озерах оно было заметно выше (30–45 таксонов).

Изменение трофического статуса озер отчетливо отражалось на флористическом разнообразии и площади зарастания подводной растительности. Мезотрофные озера отличались наиболее высоким видовым богатством погруженных растений. В эвтрофных озерах оно значительно сокращалось за счет выпадения комплекса низкорослых придонных растений – индикаторов чистых вод. Площадь зарастания подводной растительностью изменялась закономерно с падением прозрачности воды, принимая максимальные значения в олиго-мезотрофных озерах, а минимальные – в эвтрофных озерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Катанская, В.М. Биомасса высшей водной растительности в озерах Карельского перешейка / Тр. Лаб. озераведения АН СССР. – Л., 1954. Т. III. С. 102–117.
2. Трифонова, И.С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. – Л.: Наука, 1979. 168 с.
3. Трифонова, И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. 178 с.
4. Особенности формирования качества воды в разнотипных озерах Карельского перешейка / Отв. ред. И.Н. Андроникова. – Л.: Наука, 1984. 298 с.
5. Trifonova, I. The relative contributions by phytoplankton and macrophytes to primary production of two shallow lakes (Karelian Isthmus, Russia) / I. Trifonova, I. Denisova, A. Afanasieva, E. Stanislavskaya // Polish Journal of Ecology/ 2002. V. 50. P. 357–370.
6. Методические аспекты лимнологического мониторинга / Отв. ред. И.С. Трифонова. – Л.: Наука, 1988. 184 с.
7. Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования / Отв. ред. И.С. Трифонова. – СПб.: Лемма, 2008. 246 с.
8. Петров, В.В. Опыт повышения биопродуктивности малых озер Северо-Запада путём применения минеральных удобрений / Изв. ГОСНИОРХ. Т. 79. – Л., 1972. С. 77–91.
9. OECD. Eutrophication of waters, monitoring, assessment and control / Ed. Vollenweider R.A. – OECD, Paris, 1982. 154 pp.

10. Водоросли. Справочник. / Отв. ред. С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк и др. – Киев: Наук. Думка, 1989. 608 с.
11. Sladeczek, V. System of water quality from the biological point of view // Archiv Hydrobiol. Ergebnisse der Limnologie. 1973. V. 7. P. 1-218.
12. Penning, W.E. Classifying aquatic macrophytes as indicators of eutrophication in European lakes / W.E. Penning, M. Mjelde, B. Dudley et al. // Aquatic Ecology, 2008. V. 42. P. 237-251.

VEGETABLE COMMUNITIES IN THE LAKES OF KARELIAN ISTHMUS CENTRAL PART AS INDICATORS OF THEIR ECOLOGICAL STATE

© 2014 I.S. Trifonova, A.L. Afanasyeva, A.G. Rusanov, E.V. Stanislavskaya

Institute of Limnology RAS, St. Petersburg

According to summer supervision in 2010-2012 the assessment of an ecological state of 20 polytypic lakes of Karelian Isthmus in hydrochemical parameters and structure of vegetable communities (phytoplankton, periphyton, macrophytes) is carried out. The trophic status of lakes and level of their saprobity are estimated. According to the content of the common phosphorus and chlorophyll *a* the trophic status of studied lakes fluctuates from oligotrophic to gipertrophic; the majority of lakes – mezotrophic. The increase in biogenic loading at lakes leads to increase in biomass of phytoplankton and decrease in its biodiversity. Changes of taxonomical structure of vegetable communities among increase in eutrophication of lakes are revealed.

Key words: *lake, eutrophication, phytoplankton, periphyton, macrophytes*

*Irina Trifonova, Doctor of Biology, Leading Research Fellow.
E-mail: itrifonova@mail.ru*

Anna Afanasieva, Research Fellow. E-mail: afal359@mail.ru

Alexander Rusanov, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: a_rusanov@yahoo.com

Elena Stanislavskaya, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: stanlen@mail.ru