

РАСПРОСТРАНЕНИЕ *GYNYOSTOMUM SEMEN* (EHR.) DIESING В ПРИТОКАХ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

© 2015 И.С.Трифонов, А.Л. Афанасьева, О.А. Павлова

Институт озераведения РАН, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 19.05.2015

По данным многолетних исследований проанализировано распространение рафидофитовой водоросли *Gonyostomum semen* в притоках Ладожского озера. Впервые отмеченный в некоторых реках с середины 90-х гг. прошлого столетия в настоящее время, этот вид найден почти во всех реках бассейна. Наибольшие величины численности *Gonyostomum* за период с 2000 по 2005 гг. были в летне-осеннем планктоне Тулоксы, Морье, Иийоки и Мийнолы. Все эти реки характеризуются низкой минерализацией, повышенной цветностью и $pH < 7$. Исследования последних лет выявили заметное увеличение численности вида и его роли в общей биомассе фитопланктона большинства рек. Расширение ареала *Gonyostomum* в реках бассейна Ладоги показывает, что продолжается экспансия этого вида, наблюдаемая в водоемах Фенноскандии с 70-х гг. прошлого столетия. Полученные данные подтверждают, что массовое развитие *Gonyostomum* стимулируется эвтрофированием водоемов с высокой цветностью.

Ключевые слова: рафидофитовые водоросли, *Gonyostomum*, экспансия, притоки Ладоги, эвтрофирование

Рафидофитовые водоросли достаточно широко распространены в водоемах умеренной зоны, но, как правило, встречаются в незначительных количествах в небольших стоячих водоемах с ацидной гуминовой водой, прудах, лесных озерах, старицах рек и особенно в сфагновых болотах [1, 2]. Массовое развитие представителя этой группы *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing с конца 60-х гг. прошлого столетия отмечается в южных районах Швеции, преимущественно в озерах с pH воды от 5,5 до 6,8 [3]. В некоторых из них развитие вида столь обильно, что создает помехи для рекреации, вызывая аллергические реакции у купающихся. С конца 70-х гг. массовое развитие *Gonyostomum* наблюдается уже и в озерах Финляндии [4, 5]. Считается, что причиной экспансии вида является ацидификация водоемов Фенноскандии в результате выпадения кислотных дождей [3]. Существует также мнение, что массовое развитие *Gonyostomum* обусловлено обогащением ацидных водоемов биогенными веществами в результате эвтрофирования [6, 7]. Из-за массового развития *Gonyostomum* снижается биоразнообразие водных экосистем. В результате биологического загрязнения изменяется структура биоценозов и качество вод, снижается рекреационная ценность водоемов.

До конца прошлого столетия рафидофитовые водоросли были редкими в водоемах Северо-Запада России. Однако с середины 90-х гг. прошлого столетия *Gonyostomum semen* отмечается в

значительных количествах в некоторых водоемах южной Карелии [8, 9], кислых озерах Вологодской области [10] и даже в озерах и малых реках Нижегородской области [11]. В реках бассейна Ладожского озера *Gonyostomum* встречается с середины 90-х гг. прошлого столетия [12-14]. Большинство притоков Ладоги испытывают интенсивное антропогенное воздействие, что ведет к изменению их гидрохимии и ухудшению качества воды. Трансформируются и биоценозы, населяющие притоки, поступающие с их водами в озеро и оказывающие влияние на его экологическое состояние. Все это вызывает необходимость мониторинга и комплексной оценки состояния рек бассейна Ладоги и происходящих в них процессов эвтрофирования и загрязнения, в том числе биологического за счет экспансии инвазивных видов.

Материал и методы. Гидрохимические наблюдения на притоках Ладожского озера проводятся Институтом озераведения РАН с 60-х гг. прошлого столетия [15]. Исследования фитопланктона рек бассейна Ладожского озера были начаты нами в 1995 г. В 1995-1998 гг. они проводились преимущественно летом. С 2000 г. в программу исследований были включены малые реки, пробы отбирались 2-4 раза в год. В данной статье гидрохимическая характеристика и оценка состояния фитопланктона 21 притока Ладожского озера приводится преимущественно по результатам исследований 2000-2005 гг., кроме того приведены данные наблюдений 2011-2014 гг. Количественные пробы фитопланктона отбирали с поверхности, фиксировали раствором Люголя, концентрировали отстойным способом и просчитывали в камере Нажотта [15].

Результаты и обсуждение. Главные притоки Ладожского озера – Волхов, Свирь и Вуокса (Бурная и старое русло) обеспечивают 80%

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

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

Павлова Оксана Александровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: pavlova@limno.org.ru

суммарного притока воды в озеро. Реки собственного водосбора озера, на долю которых приходится 14% стока, можно разделить на четыре группы: реки северного побережья (Хиитолан, Иийоки, Мийнола, Тохма, Янис, Уксун), реки северо-восточного побережья (Тулема, Виддица, Тулокса, Олонка), реки юго-восточного побережья (Паша, Оять, Сясь) и малые реки южного и юго-западного побережья (Назия, Лава, Морье, Авлога) (рис. 1).

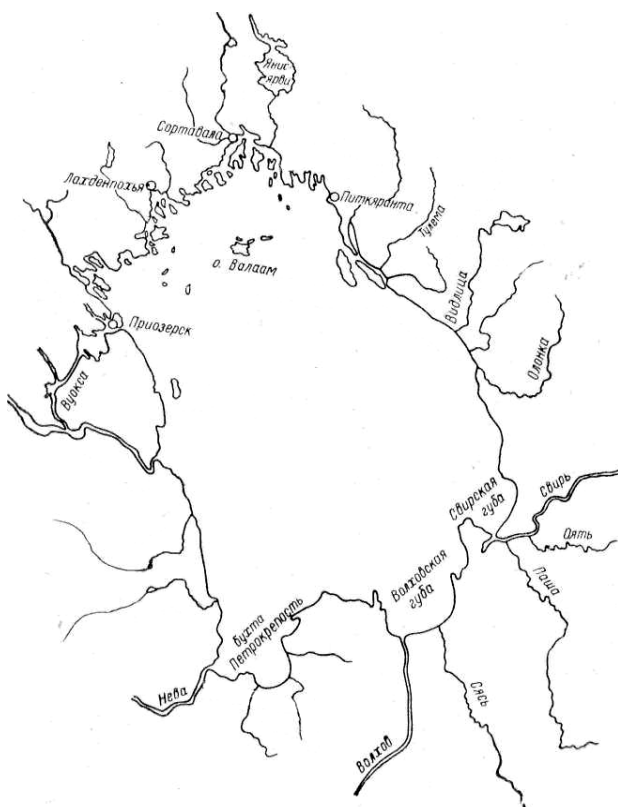


Рис. 1. Карта-схема притоков Ладожского озера

Общими чертами химического состава воды рек бассейна Ладожского озера, обусловленными природными факторами, являются низкая минерализация воды ($\Sigma_{и}$), гидрокарбонатно-кальциевый состав, превышение сульфатных ионов над хлоридными [15]. Минимальной $\Sigma_{и}$ характеризуются реки северного и северо-восточного побережья, водосборы которых сложены кристаллическими породами (табл. 1). Средняя $\Sigma_{и}$ в большинстве рек ниже 50 мг/л. Повышенная $\Sigma_{и}$ свойственна воде юго-восточных и южных рек, водосборы которых сложены осадочными породами. Наиболее высокой $\Sigma_{и}$ выделяются реки Сясь и Назия, где средняя $\Sigma_{и}$ около 100 мг/л, а максимальная - 200-300 мг/л.

Для большинства рек северного и северо-восточного побережья в половодье и дождевые паводки характерна слабокислая реакция среды, в межень – близкая к нейтральной. рН воды юго-восточных и южных рек в межень достигает 8-8,5 [15]. Цветность воды рек изменяется от 25-45° в межень и до 350-360° во время дождевых паводков. Наименьший диапазон цветности отмечен для северных рек. Содержание органического углерода в

притоках северного и северо-восточного побережья составляет 7-13 мг С/л, в остальных – 10-45 мг С/л.

Природные особенности ладожского водосбора обуславливают низкую естественную концентрацию соединений фосфора в воде большинства рек. В то же время хозяйственное освоение территорий привело к росту содержания фосфора в реках, водосборы которых испытывают интенсивное антропогенное воздействие. При концентрации общего фосфора ($P_{\text{общ.}}$) в воде северных рек 8-60 мкг/л и минерального ($P_{\text{мин.}}$) 1-40 мкг/л в сильно загрязненной р. Иийоки концентрация достигает 350 и 300 мкг/л соответственно [15]. Из рек северо-восточного побережья наименее подвержена антропогенному воздействию р. Тулема, ($P_{\text{общ.}}$ – 10-30, $P_{\text{мин.}}$ – 1-15 мкг/л). В воде рек Тулокса и Олонка, характеризующихся высокой освоенностью водосбора, содержание $P_{\text{общ.}}$ – 40-140, $P_{\text{мин.}}$ – 20-90 мкг/л. Широкий диапазон колебаний содержания фосфора отмечен в воде рек Паша, Оять и Сясь – $P_{\text{общ.}}$ – 20-100, $P_{\text{мин.}}$ – 5-60 мкг/л, а наиболее высокие концентрации – в малых реках южного и юго-западного побережья, особенно, р. Авлоге, где содержание $P_{\text{общ.}}$ достигает 3, а $P_{\text{мин.}}$ – 1,5 мг/л. Концентрации общего азота в воде большинства рек находятся в пределах 600-900 мкг N/л, и только в воде рек южного и юго-западного побережья они чрезвычайно высоки: в р. Назии – около 2, в Авлоге – 4,0-7,3 мг N/л, что, безусловно, связано со сбросом сточных вод. В большинстве рек преобладающей формой азота является органическая.

В фитопланктоне изученных рек обнаружено 503 вида водорослей [15]. Наиболее разнообразны *Bacillariophyta* (210), *Chlorophyta* (145), *Cyanophyta* (38) и *Chrysophyta* (31). Разнообразие речного фитопланктона определяется размером самих рек и размером озер, из которых они вытекают. Максимальное число видов (176-183) отмечено в Олонке и Видлице, а минимальное (54-46) – в малых реках. По числу видов во всех реках преобладают зеленые водоросли, преимущественно хлорококковые. Диатомовые и сине-зеленые водоросли более разнообразны в крупных реках. В реках северного и северо-восточного побережья (Уксун, Тулема) сине-зеленые практически отсутствуют. Для этих рек характерно максимальное разнообразие золотистых водорослей. Криптофитовые, преимущественно виды рода *Cryptomonas*, наибольшим числом видов представлены в фитопланктоне рек восточного побережья. Наибольшее число видов эвгленовых водорослей отмечено в южных и юго-восточных притоках, что, по-видимому, связано с их более высокой минерализацией и загрязнением. Единственный вид рафидофитовых водорослей *Gonyostomum semen* найден во всех реках, кроме Хиитолана и Лавы. При этом максимального развития во всех реках *Gonyostomum* достигал в летне-осеннем планктоне. Наибольшие величины численности за период с 2000 по 2005 гг. отмечены в Тулеме, Тулоксе, Морье, Иййоки, Мийноле и старом русле Вуоксы (табл. 1). Все эти реки характеризуются

низкой минерализацией, повышенной цветностью и связаны с озерно-речными системами южной

Финляндии, где *Gonyostomum* широко распространен.

Таблица 1. Гидрологические и гидрохимические характеристики рек бассейна Ладоги и максимальная численность в них *Gonyostomum semen* (2000-2005 гг.)

Реки	W, м³/сек	Σ ио- нов, мг/л	pH	Цвет- ность, град	P _{общ.}	N _{общ.}	Числен- ность <i>Gonyostom- um</i> кл./л
Бурная	613.0	42.0	6.5-7.2	<50	36	750	5000
Янис	41.7	22.3	6.3-6.7	>50	15	1200	500
Уксун	15.0	15.0	5.5-6.2	>150	17	690	3500
Тулема	21.8	21.6	5.6-6.5	>150	24	450	6000
Видлица	18.5	32.7	6.4-6.8	>100	47	350	7000
Тулокса	8.6	27.9	5.8-6.5	>200	83	780	17000
Олонка	35.2	52.6	5.2-6.7	>150	95	850	4000
Свирь	661.0	36.5	6.7-7.1	<50	36	820	11000
Оять	58.6	38.5	6.2-6.9	>100	58	590	4500
Паша	73.7	52.3	6.2-7.1	>150	52	560	4500
Сясь	63.8	116.3	6.7-7.8	>150	97	1150	500
Волхов	535.0	150.2	6.8-7.5	<100	106	1340	5000
Вуокса	24.2	38.5	6.6-7.3	<50	35	760	31000
Морье	4.5	21.0	6.4-6.9	>250	150	1090	46000
Авлога	1.8	105.7	7.2-7.5	>150	450	6110	1000
Хиитолан	14.7	24.5	7.1-7.2	<50	35	800	-
Иийоки	1.5	36.8	6.8-7.5	>100	35	600	16000
Мийнола	5.2	18.3	6.6-6.9	>150	24	1100	10000
Тохма	9.2	24.3	6.7-7.2	>100	25	830	3000
Лава	4.2	195.5	7.8-8.5	>100	100	-	-
Назия	2.1	115.5	7.2-7.4	>150	65	1990	3000

Примечание: W – среднегодовой расход

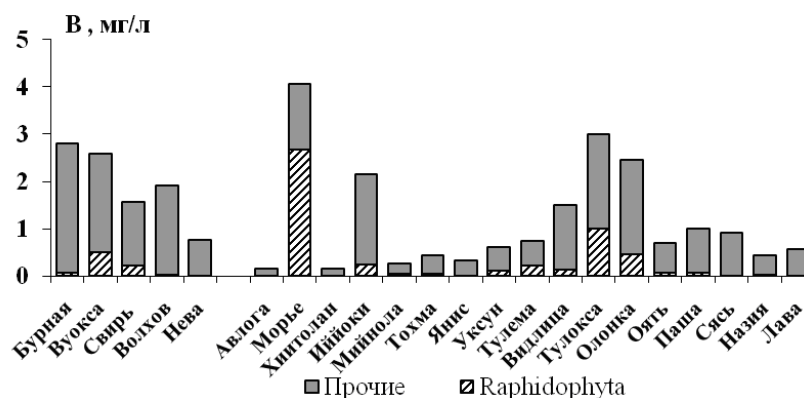


Рис. 2. Общая биомасса фитопланктона и биомасса рафидофитовых водорослей в летнем планктоне притоков Ладоги (средние данные за 2000-2005 гг.)

Средняя биомасса летнего фитопланктона исследованных притоков колебалась от 0,2 до 4,3 мг/л (рис. 2). Наиболее продуктивен фитопланктон р. Морье, который по уровню биомассы можно считать эвтрофным, а Олонку, Тулоксу, Видлицу, Иийоки и Вуоксу (1,2-2,3 мг/л) – мезотрофными [14]. Наиболее низкие величины биомассы характерны для рек Уксун, Тулема и большинства малых северных рек (0,2-0,6 мг/л), которые можно считать олиготрофными. Тем не менее и в этих реках *Gonyostomum* составляет значительную часть общей биомассы фитопланктона. Именно в этих

реках *Gonyostomum semen* играет наибольшую роль в общей биомассе фитопланктона. Прослеживается прямая связь между средней за сезон биомассой фитопланктона и содержанием фосфора в реках, хотя и не такая четкая, как для озер. Важнейшие факторы формирования речного фитопланктона – его состав и продуктивность в истоке реки, характер и скорость течения, наличие по ходу реки озер или расширенных плесов с замедленным водообменом. В большинстве притоков по биомассе в течение сезона доминировали центрические диатомеи, криптофитовые и зеленые водоросли. В

летне-осеннем планктоне рек восточного побережья зачительную роль играли рафидофитовые, которые ранее в бассейне Ладоги не отмечались. Эти реки отличаются высокой цветностью вод и связаны с болотными массивами и озерно-речными системами Фенноскандии.

На протяжении периода исследований наблюдалось постепенное распространение *Gonyostomum* на водосборе Ладоги (табл. 2). В конце 90-х гг. вид регистрировался только в 5 реках. В небольших количествах вид отмечался в северо-восточных притоках Уксун Тулема, Видлица, Тулокса и Олонка с рН от 5,2 до 6,8 и цветностью выше 150° Pt/Co шкалы. В настоящее время в

большинстве притоков *Gonyostomum* является обычным компонентом летнего планктона, достигая максимальной численности в июле-августе. В летнем фитопланктоне *Gonyostomum semen* составляет до 25% биомассы фитопланктона в реках восточного побережья, до 30-40% в северных, в фитопланктоне крупных рек – не более 10%. За период наблюдений роль этого вида в планктоне притоков год от года возрастала. Наибольшая численность вида (до 40-50 тыс. кл./л) отмечена в гумифицированных притоках с повышенным содержанием фосфора, прежде всего р. Морье (с содержанием $P_{\text{общ}}$ 0,15 мг/л), где он составлял от 50 до 80% общей биомассы фитопланктона.

Таблица 2. Численность *Gonyostomum semen* (кл./л) в летнем планктоне притоков Ладоги в разные годы

Реки	Годы								
	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2011	2014
Бурная			500	1000			5000	3000	6000
Янис				500					
Уксун	500	2500	3000		3500	1000	2000	2000	1000
Тулема	100	1000	1500	2000	4000	3000	6000	4000	5000
Видлица		3500	2500	1500	1500	1500	7000	2000	1000
Тулокса	1000	5000	14000	16500	3500	13000	7000	22000	3000
Олонка		1000	1500	2400	2500	500	4000	4000	16000
Свирь			1500	7000	11000	5500	1000	2000	1000
Оять			1500		1500	4500		1000	3000
Паша			1500		500	4500	2000		1000
Сясь	500								
Волхов							5000	1000	1000
Вуокса			4000	5000	31000	4000	14000	2000	6000
Морье					37000	45000	46000		50000
Авлога					1000		1000	1000	1000
Хиитолан									
Иийоки						16000			1000
Мийнола					10000		500		15000
Тохма					3000		2000	1000	1000
Лава									
Назия							3000		1000

Наблюдения 2011 и 2014 гг. показали, что в планктоне притоков северного побережья – Иийоки, Мийноле, Тулеме и Тохме рафидофитовые доминируют, составляя от 42% до 87% общей биомассы. Особенно возросла роль *Gonyostomum* в р. Мийноле, благодаря чему суммарная биомасса фитопланктона здесь достигла 6 мг/л. В Ояти *Gonyostomum* составлял 21%, в Тулоксе – 11%, в Волхове – до 4% общей биомассы. В Олонке развитие *Gonyostomum* (27%) обусловило максимальное значение биомассы фитопланктона за весь период наблюдений – 8,6 мг/л. Существенную долю *Gonyostomum* составлял в биомассе планктона рек Бурной, Вуоксы и Тулемы (18-46 %).

Многофакторный анализ зависимости структуры фитопланктона исследованных рек от факторов среды показал, что распространение рафидофитовых водорослей связано с размером рек,

цветностью, и содержанием фосфора [16]. Ординация методом главных компонент выявила преимущественное развитие *Gonyostomum* в малых и средних реках с низкой минерализацией, повышенной цветностью и повышенным содержанием фосфора, т.е. подтверждается стимулирующая роль эвтрофирования в распространении инвазийного вида *Gonyostomum* в водоемах Северо-Запада России.

Выводы: рафидофитовая водоросль *Gonyostomum semen*, впервые отмеченная в притоках Ладожского озера с середины 90-х гг. прошлого столетия, в настоящее время найдена во всех реках, кроме Хиитолана и Лавы, достигая максимального развития в летне-осеннем планктоне. Наибольшие величины численности за период с 2000 по 2005 гг. отмечены в Тулеме, Тулоксе, Морье, Иийоки, Мийноле и старом русле Вуоксы. Все

эти реки характеризуются низкой минерализацией, повышенной цветностью, pH < 7 и связаны с озерно-речными системами южной Финляндии, где *Gonyostomum semen* широко распространен. На протяжении периода исследований наблюдалось постепенное распространение *Gonyostomum* на водосборе Ладоги. В последние годы отмечено заметное повышение численности вида и его роли в общей биомассе фитопланктона большинства рек. В ряде рек *Gonyostomum* составляет от 40 до 80% биомассы водорослей. Существенная роль в биомассе фитопланктона ряда притоков Ладоги *Gonyostomum semen* и расширение из года в год ее ареала в бассейне Ладоги показывают, что продолжается экспансия этого инвазийного вида, которая для водоемов Фенноскандии отмечается с 70-х годов прошлого столетия. Полученные данные подтверждают, что массовое развитие *Gonyostomum semen* стимулируется эвтрофированием водоемов с высокой цветностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Sladkovodne Riasy / Ed. Frantisek Hindak. – Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1978. 725 pp.
2. Водоросли. Справочник / С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк и др. – Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
3. Cronberg, G. Mass Development of the Flagellate *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in Swedish Forest Lakes / G. Cronberg, G. Lindmark, S. Bjork // *Hydrobiologia*. 1988. V. 161. P. 217-237.
4. Heinonen, P. Quantity and Composition of Phytoplankton in Finnish Inland Waters // *Publ. Water Res. Inst. Helsinki*. 1980. V. 37. P. 1-31.
5. Lepisto, L.J. The occurrence of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing in Finnish lakes / L.J. Lepisto, S. Antikainen, J. Kivinen // *Hydrobiologia*. 1994. V. 273. P. 1-8.
6. Willen, E. Summer phytoplankton in 73 nutrient-poor Swedish lakes. Classification, Ordination and choice of long-term monitoring objects / E. Willen, S. Hajdu, Y. Pejler // *Limnologia*. 1990. V. 20. P. 217-227.
7. Willen, E. Dominance patterns of planktonic algae in Swedish forest lakes // *Hydrobiologia*. 2003. V. 502. P. 315-324.
8. Никулина, В.Н. Особенности фитопланктонных сообществ световодно-ацидных и гумифицированных озер Южной Карелии // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. Под ред. А.Ф. Алимова. – СПб, Труды ЗИН РАН. 1997. Т. 272. С. 29-45.
9. Комулайнен С.Ф. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология / С.Ф. Комулайнен, Т.А. Чекрыжева, И.Г. Вислянская. – Петрозаводск: Изд-во Кар. НЦ РАН, 2006. 78 с.
10. Корнева, Л.Г. Экология массового развития рафидофитовых водорослей / Эколого-физиологические исследования водорослей и их значение для оценки состояния пресных вод; под ред. И.Л. Пыриной. – Ярославль, 1996. С. 48-53.
11. Ветрова, З.И. Представители Raphidophyta в водоемах Советского Союза / З.И. Ветрова, А.Г. Охупкин // *Ботанич. журн.* 1990. Т. 75, №5. С. 631-636.
12. Трифонова, И.С. Видовой состав и биомасса фитопланктона притоков Ладожского озера и реки Невы / И.С. Трифонова, А.Л. Афанасьева, О.А. Павлова // *Ботанич. журн.* 2001. Т. 86, № 11. С. 10-20.
13. Состояние биоценозов озерно-речной системы Вуоксы. Монография / Отв. ред. И.С. Трифонова. – СПб.: НИИ химии СПбГУ, 2004. 148 с.
14. Трифонова, И.С. Оценка трофического состояния притоков Ладожского озера и р. Невы по фитопланктону // Трифонова И.С., Павлова О.А. / *Водные ресурсы*. 2004. Т. 31, № 6. С. 732-741.
15. Оценка экологического состояния рек бассейна Ладожского озера по гидрохимическим показателям и структуре биоценозов. Монография / Отв. ред. И.С. Трифонова. – СПб.: Изд-во "Лема", 2006. 130 с.
16. Trifonova, I. Phytoplankton as an indicator of water quality in the rivers of the Lake Ladoga basin and its relation to environmental factors / I. Trifonova, O. Pavlova, A. Rusanov // *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 2007. Bd. 167, N. 3-4. S. 527-549.

THE DISTRIBUTION OF *GONYOSTOMUM SEMEN* (EHR.) DIESING IN THE LAKE LADOGA TRIBUTARIES

© 2015 I.S. Trifonova, A.L. Afanasieva, O.A. Pavlova
Institute of Limnology RAS, S-Peterburg

The distribution of raphidophyte alga *Gonyostomum semen* in Ladoga Lake inflows is analyzed on the data of long-term researches. This species, which for the first time met in some Lake Ladoga inflows in the middle of the 90-th of the last century, now is found in summer-autumn plankton of almost all rivers of the basin. The largest number of *Gonyostomum* in period of 2000-2005 was noted in Tulema, Tuloksa, Morye, Iyyoki and Miynola. All these rivers are characterized by the low total ions content, high water colour and pH < 7. Researches of the recent years have revealed noticeable increase of *Gonyostomum* in number and its role in total phytoplankton biomass of the majority rivers. Spreading of *Gonyostomum semen* area in the rivers of Ladoga basin shows, that its expansion, noted for water-bodies of Fennoscandia from 70-th of the last century, proceed. Our data confirm also that mass development of *Gonyostomum* can be stimulated by anthropogenous eutrophication of acid water-bodies with high water colour.

Key words: raphidophyte algae, *Gonyostomum*, expansion, Lake Ladoga inflows eutrophication

Irina Trifonova, Doctor of Biology, Main Research Fellow. E-mail: itrifonova@mail.ru; Anna Afanasieva, Research Fellow. E-mail: afal359@mail.ru; Oksana Pavlova, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: pavlova@limno.org.ru