

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ ЛЬДА И ПОДЛЕДНОЙ ВОДЫ НЕКОТОРЫХ ОЗЕР КАРЕЛИИ

© 2020 г. С. И. Генкал^{1,*}, С. Ф. Комулайн^{2,**}

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
п. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., 152742, Россия

² Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, д. 11, Петрозаводск, 185910, Россия

*e-mail: genkal@ibiw.yaroslavl.ru

**e-mail: komsf@mail.ru

Поступила в редакцию 17.05.2019 г.

После доработки 10.12.2019 г.

Принята к публикации 17.12.2019 г.

Изучение диатомовых водорослей в пробах льда и подледной воды из 8 озер и водоемов Карелии с помощью сканирующей электронной микроскопии выявило 97 таксонов Bacillariophyta. Среди них 12 видов оказались новыми для флоры Онежского озера, 9 — для Республики Карелия, *Brachysira liliانا* Lange-Bertalot — для России. Максимальное число видов отмечено в родах *Fragilaria* (6), *Pinnularia* (6) и *Navicula* (8); наибольшее таксономическое разнообразие выявлено в Тарасозере и Онежском озере.

Ключевые слова: Bacillariophyta, зимний фитопланктон, лед, озера, Карелия

DOI: 10.31857/S0006813620020039

Первые сообщения о диатомовых водорослях, найденных во льдах, были опубликованы еще в середине 19 века (Ehrenberg 1841; Cleve, Grunow 1880; Grunow 1884). Тем не менее, до недавнего времени хорошо исследованы только сообщества льдов Антарктиды и Арктики (Melnikov, 2014). Считалось, что из-за низкой освещенности активность подледного фитопланктона в континентальных водоемах невысока (Österler, 2017). Пресноводный лед существует значительно более короткое время, чем морской, он монолитен, его интерстициаль занимает малый объем, а развитая система пор и каналов возникает только весной (Salonen et al., 2009), поэтому во льду присутствуют только вмерзшие в него водоросли (анабиозноз), которые возвращаются к активной жизни лишь после таяния льда (Afonina et al., 2017). Фрагментарность зимних наблюдений объясняется также техническими трудностями, не позволяющими безбоязненно работать на льду особенно в период ледостава и разрушения ледяного покрова (River, 1984).

Активизация зимних лимнологических исследований в конце 20 и начале 21 века связана не только со стремлением получить результаты о ранее недоступном периоде. Было отмечено, что лед важный специфический структурный компо-

нент биосферы, который регулирует условия в толще воды, является хорошо защищенной динамичной экологической нишей, а замерзающие пресноводные водоемы представляют значительную долю ландшафта (Algae..., 2007; Salonen et al., 2009). Прогнозируемое изменение климата сильнее всего изменит режим именно замерзающих водоемов (Woodward et al., 2010; Hampton et al., 2015) из-за сокращения продолжительности ледостава. Отмечено также, что замерзающие озера и их биота имеют высокий потенциал как природные мониторы (Korzhova, 2013; Prowse et al., 2011), так как лед и населяющие его организмы накапливают поллютанты из воды и атмосферы. Зимние наблюдения позволяют предсказать характер функционирования водных экосистем в последующий период открытой воды (Hampton et al., 2017) и могут быть надежной мерой оценки местного климата (Prowse et al., 2011).

Ледовый режим водоемов республики Карелии формируется в условиях переходной зоны между западноевропейским морским климатом и евроазиатским континентальным. Средние многолетние даты наступления ледостава варьируют от первой декады ноября до первой декады декабря и зависят от размеров озер (Efremova et al., 2013). Нарастание льда происходит неравномерно:

более интенсивно – в ноябре, декабре. Продолжительность ледостава составила 100–115 дней и таким образом, в большинстве случаев мы ничего не знаем о жизни водных организмов в течение как минимум трех месяцев. Известна только работа Петровой (Petrova, 1986) о сезонной динамике фитопланктона в Онежском озере, в которой отмечено доминирование в нем зимой *Melosira islandica* subsp. *helvetica* O. Müller. Первые наблюдения за структурой зимней альгофлоры были выполнены на трех водоемах города Петрозаводска, и при этом в первую очередь оценивалась активность альгоценозов в водоемах, покрытых льдом, и структура доминирующего комплекса, а детальный таксономический анализ не проводился (Slastina et al., 2011; Komulainen et al., 2012).

Цель данной работы – изучение видового состава Bacillariophyta в альгоценозах, формирующихся во льду и подо льдом в водоемах Карелии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для данной работы послужили пробы воды и льда, отобранные в семи озерах и в Петрозаводской губе Онежского озера в апреле 2011 г. Толщина льда в период наблюдения изменялась от 50 до 70 см, высота снежного покрова от 20 до 30 см. Температура воды не превышала 4°C. Пробы фитопланктона отбирали 2-литровым батометром Рутнера. Для изучения альгофлоры, развивающейся во льду, выпиливали блоки льда 40 × 40 см и отрезали с таким расчетом, чтобы после таяния объем пробы составил 5 л. Пробы для таксономического анализа фиксировали 40%-м формалином, концентрировали методом прямой фильтрации через мембранные фильтры “Владипор” с диаметром пор 0.9–1 мкм до 10–15 мл, в дальнейшем сгущая пробу до 5 мл отстаиванием. Освобождение створок диатомей от органических веществ проводили методом холодного сжигания (Balonov, 1975). Препараты водорослей исследовали в сканирующем электронном микроскопе JSM–25S.

Озеро Лососинное (Лососинское) является одним из старейших водохранилищ России. Оно создано в начале XVIII века для нужд Петровского чугунолитейного завода на месте двух малых водоемов. Петрозаводская губа Онежского озера – залив в северо-западной части Онежского озера на территории Республики Карелии. Озеро Ламба относится к типичному для Фенноскандии типу небольших лесных озер, часто без видимого стока, для которых характерны низкие значения рН и высокое содержание гумуса. Озеро Четырехверстное тоже когда-то было лесным озером, но оно долгое время использовалось для водоснабжения небольшой обувной фабрики. На месте озера Карьер до 1980 года находилась открытая

горная выработка. После прекращения добычи камня образовался водоем длиной 580 м, глубиной до 13 м и площадью 13.6 га. Водоем безымянный, в микрорайоне Соломенное, это также бывший карьер, но песчаный, который заполнился водой в 80-х годах. Тарасозеро и Кедрозеро – проточные озера в системе реки Лижма, находящиеся примерно в 70 км от города Петрозаводска. Водоемы отличаются по своей истории, морфометрическим, гидрологическим и гидрохимическим характеристикам (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованных озерах обнаружено 97 видов и разновидностей диатомовых водорослей, в том числе 22 представителя класса Centrophyceae и 75 – Pennatophyceae, а наибольшее видовое разнообразие отмечено в родах *Fragilaria* (6), *Pinnularia* (6) и *Navicula* (8) (табл. 2).

Наибольшее число таксонов выявлено в Онежском озере (32) и Тарасозере (28), наименьшее в оз. Карьер (11) (табл. 2), что, тем не менее, превышает значения, полученные для рек (Kuzmin, Balonov, 1974). Максимальное число водорослей льда зафиксировано в озере, расположенном в пос. Соломенное, минимальное – в оз. Карьер, а в фитопланктоне наибольшее число таксонов выявлено в Онежском озере, наименьшее – в оз. Четырехверстное (табл. 2). При этом, в озерах Лососинное и Четырехверстное число обнаруженных диатомей льда превышало таковое в фитопланктоне, в остальных, за исключением оз. Кедрозера, в видовом отношении фитопланктон был богаче льда (табл. 2). Согласно последним данным для флоры Карелии известно 794 вида, разновидности и формы (Genkal et al., 2015). Среди обнаруженных видов 12 оказались новыми для флоры Онежского озера (табл. 2), 9 – для Карелии, 1 – для России. Ниже приведены краткие сведения по морфологии и оригинальные микрофотографии некоторых таксонов.

Asterionella ralfsii W. Smith (табл. I, 1). Створка длиной 44.3 мкм, шириной 4 мкм, штрихов 13 в 10 мкм.

Вид относится к редким для флоры России, известно лишь несколько местонахождений (Genkal, Kharitonov, 2008; Genkal, Yarushina, 2018). В нашем материале ширина створки отличалась от диагноза в большую сторону, а число штрихов в 10 мкм в меньшую (Krammer, Lange-Bertalot, 1991). Однако в материале из Чукотки были встречены экземпляры *A. ralfsii* с шириной створки до 4.4 мкм и числом штрихов в 10 мкм 22–26 (Genkal, Kharitonov, 2008). Значительная изменчивость числа штрихов в 10 мкм имеет место в популяциях и других представителей бесшовных

Таблица 1. Координаты точек отбора проб и морфометрические показатели исследованных водоемов
Table 1. Coordinates of sampling points and morphometric parameters of the studied reservoirs

Водоемы Reservoirs	Координаты точки отбора проб Coordinates of sampling point		Площадь зеркала озера, км ² Lake surface area, km ²	Средняя глубина, м Average depth, m	P _{общ.} , мкг л ⁻¹ P _{total} , µg l ⁻¹	Электропроводность, мкСм см ⁻¹ Electrical conductivity, µSm cm ⁻¹	Цветность воды, Со-Рт ^о Colour of water, Co-Pt ^o	рН
	Широта Latitude	Долгота Longitude						
1 оз. Лососинное Lososinoye Lake	61°40'35"	34°10'38"	10.5	5.7	27	37	57	7.0
2 оз. Четырехверстное Chetyrekhverstnoye Lake	61°44'53"	34°26'20"	0.12	3.2	46	196	80	8.3
3 оз. Карьер Kar'yer Lake	61°46'07"	34°25'15"	0.14	6.7	10	300	5	8.0
4 оз. Ламба Lamba Lake	61°48'25"	34°14'58"	0.01	3.4	68	124	100	7.0
5 Петрозаводская губа Онежского озера Petrozavodsk Bay of Onega Lake	61°48'45"	34°25'32"	180.0	20.0	36	50	38	
6 оз. Безымянное у пос. Соломенное A nameless lake near settlement Solomennoye	61°50'58"	34°18'31"	1.70	1.1	1890	56	1600	5.3
7 оз. Кедрозеро Kedrozero Lake	62°23'02"	34°25'52"	24.3	10.0	6	57	28	7.2
8 оз. Тарасозеро Tarasmozero Lake	62°23'24"	34°26'52"	1.1	3.7	7	57	28	7.2

Таблица 2. Видовой состав Bacillariophyta в исследованных водоемах
Table 2. The species composition of Bacillariophyta in the studied Waterbodies

Виды/Species	Водоемы/Waterbodies							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>*Achnanthydium cf. subatomoides</i> (Hust.) O. Monnier, Lange-Bert. et L. Ector					-/+			
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kütz.) Czarn.			-/+		-/+		+/-	+/+
<i>Amphora pediculus</i> (Kütz.) Grunow			-/+					
<i>Amphora</i> sp.	-/+							
<i>Asterionella formosa</i>		+/-	+/-		-/+			+/+
**Asterionella ralfsii W. Sm.	+/+							
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	+/+	+/-		-/+		+/-		
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenb.) Simonsen			-/+	+/-			-/+	
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müll.) Simonsen					-/+			-/+
<i>Aulacoseira subarctica</i> (O. Müll.) E.Y. Haw. emend. Genkal	-/+	+/-			-/+	+/-		-/+
<i>Brachysira brebissonii</i> Ross			-/+	-/+				
**Brachysira liliana Lange-Bert.						+/-		
**Brachysira styriaca (Grunow) R. Ross		+/-				+/-		+/+
<i>Cavinula jaernefeltii</i> (Hust.) D.G. Mann et Stickle					+/-		+/-	+/-
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenb.) Grunow	-/+	+/-		+/-				
<i>Cocconeis placentula</i> . var. <i>lineata</i> (Ehrenb.) Van Heurck	-/+	-/+				+/+	+/+	
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenb. var. <i>placentula</i>					-/+			
<i>*Contiribra weissflogii</i> (Grunow) K. Stachura-Suchoples					-/+			
<i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round						+/+		
<i>*Cyclotella atomus</i> Hust.					-/+	+/-	-/+	
<i>Cyclotella meduanae</i> H. Germ.			-/+	-/+				
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.				-/+	-/+	+/+	-/+	
<i>Cyclotella schumanii</i> (Grunow) Håk. emend. Genkal					-/+			
<i>Cyclotella rossii</i> Håk.	-/+		-/+		+/+	+/-	+/+	-/+
<i>Diatoma tenius</i> C. Agardh					-/+			+/+
<i>Diatoma moniliformis</i> Kütz.								-/+
<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hust.) Houk et Klee					-/+			
<i>*Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann					-/+			
<i>*Eunotia bilunaris</i> (Ehrenb.) Schaarschm.				+/+	+/+	+/+	-/+	-/+
<i>Eunotia diodon</i> Ehrenb.							+/-	
<i>Eunotia mucophila</i> (Lange-Bert., Nörpel-Schempp et Alles) Lange-Bert.	-/+			-/+			+/-	
<i>Eunotia cf. neocompacta</i> Mayama var. <i>vixcompacta</i> Lange-Bert.		-/+						
<i>Eunotia</i> species	-/+							
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton					-/+			-/+
<i>*Fragilaria delicatissima</i> (W. Sm.) Lange-Bert.					-/+			
<i>*Fragilaria gracilis</i> Oestrup					-/+			+/+
<i>Fragilaria mesolepta</i> Rabenh.	+/-							
<i>Fragilaria cf. rumpens</i> (Kütz. G.W.F. Carlson								+/-
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kütz.) J.B. Petersen					+/+		-/+	-/+
<i>Frustulia crassinervia</i> (Bréb.) Lange-Bert. et Krammer				-/+				
<i>Frustulia krammeri</i> Lange-Bert. et Metzeltin				+/-				
<i>Frustulia saxonica</i> Rabenh.	+/+			+/-		+/-	-/+	+/+
<i>Gliwiczja calcar</i> (Cleve) Kulikowskij, Lange-Bert. et A. Witkowski					-/+			
<i>Gomphonema cf. augur</i> Ehrenb.								+/-
*Gomphonema micropus Kütz.			-/+	-/+				
<i>Handmannia comta</i> (Ehrenb.) Kociolek et Khursevich emend. Genkal		+/-				+/-		-/+
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenb.) R.M. Patrick emend. Genkal et Kharitonov								-/+
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenb.) Grunow		+/-						
<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenb.) Lange-Bert., Metzeltin et Witkowski				+/-				
<i>Karayevia clevei</i> (Grunow) Bukht.					+/-			
<i>Kobayasiella parasubtilissima</i> (H. Kobayasi et Nagumo) Lange-Bert.							+/+	
<i>Kobayasiella subtilissima</i> (Cleve) Lange-Bert.	-/+		-/+	+/-		+/-		

Таблица 2. Окончание

Виды/Species	Водоёмы/Waterbodies							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Melosira varians</i> C. Agardh		+/+						-/+
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bert.							+/-	
<i>Navicula cf. cincta</i> Ehrenb.							-/+	
<i>Navicula exilis</i> Kütz.	+/–					+/–		
<i>Navicula gregaria</i> Donkin								-/+
<i>Navicula radiosa</i> Kütz.	-/+							
<i>Navicula cf. slesvicensis</i> Grunow				+/–				
** <i>Navicula veneta</i> Kütz.						-/+		
<i>Navicula vulpina</i> Kütz.		+/–						
<i>Nitzschia alpina</i> Hust.				-/+				
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kütz.) Grunow					+/+			
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kütz.) Grunow						+/–		
* <i>Nitzschia hantzschiana</i> Rabenh.						-/+		
<i>Nitzschia cf. subtilis</i> Grunow					-/+			
** <i>Pinnularia nodosa</i> (Ehrenb.) W. Sm. var. <i>pseudogracillima</i> A. Mayer						+/–		
<i>Pinnularia septentrionalis</i> Krammer				-/+				
<i>Pinnularia</i> species 1	+/–							
<i>Pinnularia</i> species 2		+/–						
<i>Pinnularia subgibba</i> Krammer var. <i>undulata</i> Krammer							+/–	
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenb.		+/–						
<i>Planothidium delicatulum</i> (Kütz.) Round et Bukht.							+/–	
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bert.) Lange-Bert.		+/–						
<i>Planothidium rostratum</i> (Oestrup) Lange-Bert.	+/–							
<i>Psammothidium</i> species								-/+
** <i>Punctastriata ovalis</i> Williams et Round								-/+
** <i>Sellaphora cf. crassulexigua</i> (E. Reichardt) C.E. Wetzel et L. Ector								-/+
** <i>Sellaphora elorantana</i> (Lange-Bert.) Wetzel							+/–	
<i>Sellaphora laevis</i> (Kütz.) D.G. Mann		+/–						
<i>Sellaphora</i> species								-/+
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenb.							-/+	
<i>Staurosirella lapponica</i> (Grunow) Williams et Round					-/+			
* <i>Staurosirella martyi</i> (Hérib.) Morales et Manoylov					+/–			
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	-/+			+/–				
<i>Stephanodiscus invisitatus</i> Hohn et Hellermann				-/+				
* <i>Stephanodiscus cf. makarovae</i> Genkal		+/–		-/+				
<i>Stephanodiscus minutulus</i> (Kütz.) Cleve et Möller	-/+	+/+	-/+	-/+	+/+		+/+	-/+
<i>Stephanodiscus neoastraea</i> Håk. et B. Hickel emend. Casper, Scheffler et Augsten	+/+				-/+			
<i>Stephanodiscus</i> species					-/+			
* <i>Surirella minuta</i> Bréb.					-/+			
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz. emend. Genkal	+/+	+/+	-/+	-/+	+/+	+/+	+/+	+/+
** <i>Thalassiosira fauri</i> (Gasse) Hasle emend. Genkal								-/+
<i>Thalassiosira lacustris</i> (Grunow) Hasle emend. Genkal						+/–		
<i>Tryblionella angustata</i> W. Sm.								-/+
<i>Ulnaria acus</i> (Kütz.) Aboal				+/–				
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compere				-/+				+/–
Видов в фитопланктоне/Species in phytoplankton	16	5	10	15	28	7	13	24
Видов в криофитоне/Species in cryophyton	9	16	1	10	10	18	13	10
Общих видов/Common species	5	3	0	1	6	5	5	7
Всего видов/Total species	20	18	11	24	32	20	21	29

Примечание. 1 – оз. Лососинное, 2 – оз. Четырехверстное, 3 – оз. Карьер, 4 – оз. Ламба, 5 – Петрозаводская губа Онежского озера, 6 – оз. Безымянное у пос. Соломенное, 7 – оз. Кедрозеро, 8 – оз. Тарасмозеро. Над дробью лед, под дробью – фитопланктон. * – новые виды для флоры Онежского озера, ** – новые виды для флоры Карелии.

Note. 1 – Lososinoye Lake, 2 – Chetyrekhverstnoye Lake, 3 – Kar'yer Lake, 4 – Lamba Lake, 5 – Petrozavodsk Bay of Onega Lake, 6 – A nameless lake near settlement Solomennoe, 7 – Kedrozero Lake, 8 – Tarasmozero Lake. Above the slash is ice, under the slash – phytoplankton. * – new species for the flora of Onega Lake, ** – new species for the flora of Karelia.

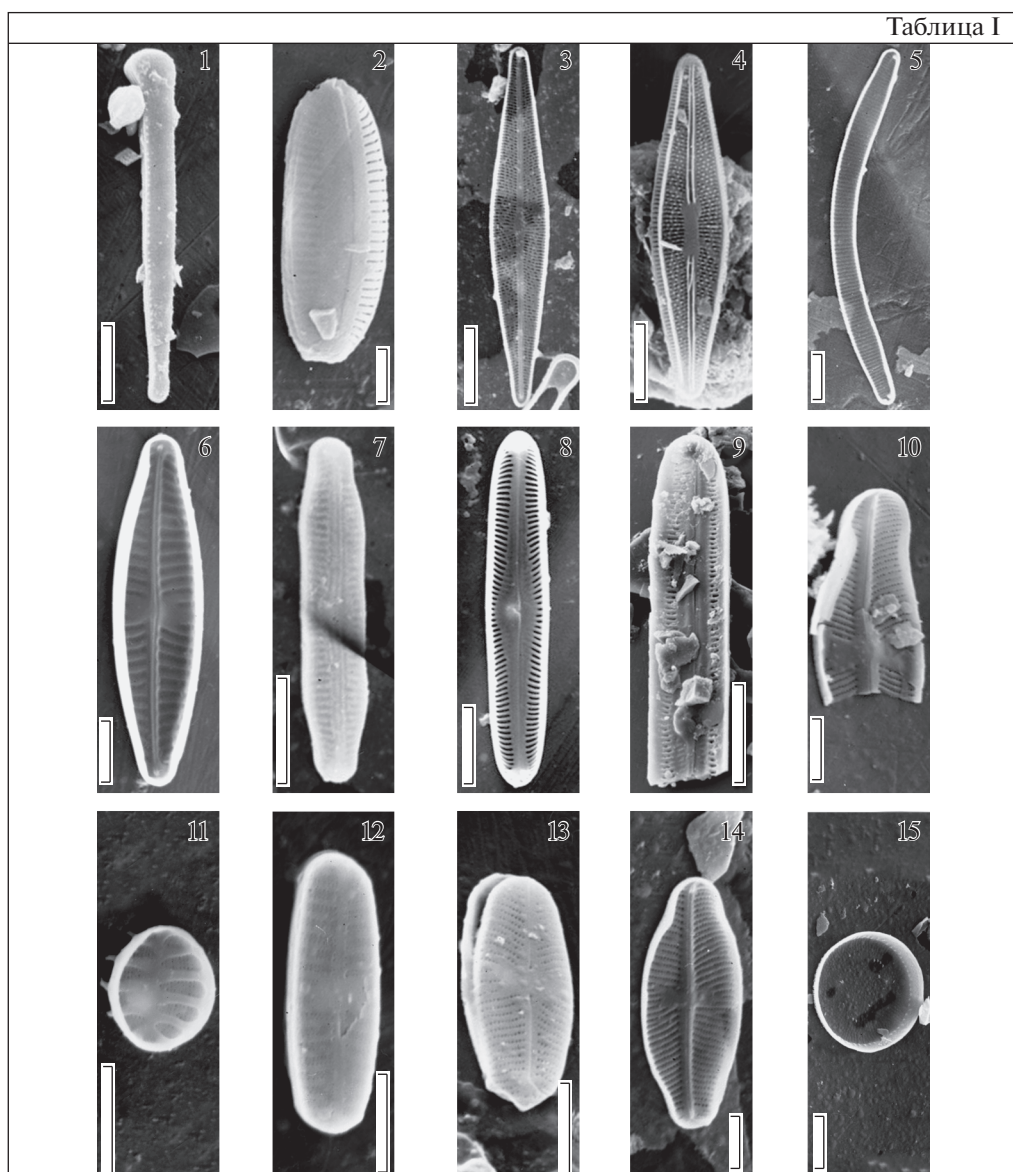


Табл. I. 1 – *Asterionella ralfsii*; 2 – *Amphora* species; 3 – *Brachysira liliana*; 4 – *B. tyriaca*; 5 – *Eunotia* species; 6 – *Navicula veneta*; 7 – *Pinnularia nodosa* var. *pseudogracillima*; 8 – *Pinnularia* species 1; 9 – *Pinnularia* species 2; 10 – *Psammothidium* species; 11 – *Punctastriata ovalis*; 12 – *Sellaphora elorantana*; 13 – *S. cf. crassulexigua*; 14 – *Sellaphora* species; 15 – *Thalassiosira faurii*. 1, 2, 4, 7, 12, 13 – створки с наружной поверхности; 3, 5, 6, 8–11, 14, 15 – створки с внутренней поверхности. СЭМ. Масштабные линейки: 1, 3–5, 15 – 10 мкм; 2, 6, 10–14 – 5 мкм; 7, 8 – 20 мкм; 9 – 50 мкм.

Plate I. 1 – *Asterionella ralfsii*; 2 – *Amphora* species; 3 – *Brachysira liliana*; 4 – *B. tyriaca*; 5 – *Eunotia* species; 6 – *Navicula veneta*; 7 – *Pinnularia nodosa* var. *pseudogracillima*; 8 – *Pinnularia* species 1; 9 – *Pinnularia* species 2; 10 – *Psammothidium* species; 11 – *Punctastriata ovalis*; 12 – *Sellaphora elorantana*; 13 – *S. cf. crassulexigua*; 14 – *Sellaphora* species; 15 – *Thalassiosira faurii*. 1, 2, 4, 7, 12, 13 – external view of the valve; 3, 5, 6, 8–11, 14, 15 – internal view of the valve. SEM. Scale bars: 1, 3–5, 15 – 10 μm ; 2, 6, 10–14 – 5 μm ; 7, 8 – 20 μm ; 9 – 50 μm .

диатомовых водорослей, например, *Diatoma tenue* Agardh emend. Genkal (Genkal, 2004).

Amphora sp. (табл. I, 2). Створка длиной 26.6 мкм, штрихов 11 в 10 мкм.

Brachysira liliana Lange-Bertalot (табл. I, 3). Створка длиной 47 мкм, шириной 7.7 мкм, штрихов 26 в 10 мкм. По числу штрихов в 10 мкм наш

экземпляр отличается от диагноза (Lange-Bertalot, Moser, 1994) в меньшую сторону.

Новый для флоры России.

Brachysira styriaca (Grunow) Ross (табл. I, 4). Створки длиной 28.6–40 мкм, шириной 8.6–10 мкм, штрихов 20 в 10 мкм.

Редкий для флоры России вид, известны его находки в озерах и болотах Кольского п-ва (Опре-

delitel'..., 1951) и на Чукотке (Kharitonov, 2014). В нашем материале створки отличались от диагноза (Lange-Bertalot, Moser, 1994) бóльшей шириной и меньшим числом штрихов в 10 мкм.

Eunotia sp. (табл. I, 5). Створка длиной 80 мкм, шириной 7.1 мкм, штрихов 18 в 10 мкм.

Navicula veneta Kützing (табл. I, 6). Створка длиной 34 мкм, шириной 6 мкм, штрихов 11 в 10 мкм.

Космополит (Kulikovskiy et al., 2016).

Pinnularia nodosa var. *pseudogracillima* A. Mayer (табл. I, 7). Створка длиной 64.4 мкм, шириной 11 мкм, штрихов 8 в 10 мкм.

Редкий для флоры России, известен из озера Глубокого (Chudaev, Gololobova, 2016).

Pinnularia sp. 1 (табл. I, 8). Створка длиной 88 мкм, шириной 14.7 мкм, штрихов 15 в 10 мкм.

Pinnularia sp. 2 (табл. I, 9). Створка длиной 272 мкм, шириной 40 мкм, штрихов 5 в 10 мкм.

Psammothidium sp. (табл. I, 10). Створка длиной 25.7 мкм, шириной 8.6 мкм, штрихов 20 в 10 мкм.

Punctastriata ovalis Williams et Round (табл. I, 11). Створка длиной 5.3 мкм, шириной 4.2 мкм, штрихов 10 в 10 мкм.

Редкий для флоры России вид, известны его немногочисленные находки в озере Балан-Тамур Прибайкалья (Genkal, Bondarenko, 2011; Genkal et al., 2011).

Sellaphora cf. *crassulexigua* (E. Reichardt) C.E. Wetzel et L. Ector (табл. I, 13). Створка длиной 11.4 мкм, шириной 4.4 мкм, штрихов 24 в 10 мкм.

Sellaphora elorantana (Lange-Bertalot) Wetzel emend. Genkal (табл. I, 12). Створка длиной 13.6 мкм, шириной 4 мкм, штрихов 14 в 10 мкм.

Редкий вид для флоры России, известны находки в водоемах и водотоках Западной Сибири (озера, ручьи и протоки в бассейнах рек Мессояхи, Мордыахи, Собетьяхи, Ханголовахи) (Genkal, Yarushina, 2017).

Sellaphora sp. (табл. I, 14). Створка длиной 17.8 мкм, шириной 7.1 мкм, штрихов 23 в 10 мкм.

Thalassiosira faurii (Gasse) Hasle emend. Genkal (Табл. I, 15). Створка диаметром 24.4 мкм, краевых выростов 11 в 10 мкм.

Редкий вид для флоры России, зафиксирован в волжских и Камском водохранилищах (Genkal, Korneva, 2001; Genkal, Belyaeva, 2011; Genkal, Okhapkin, 2013).

Эколого-географический анализ зарегистрированных видов показал, что во всех водоемах независимо от местообитания, наиболее разнообразны бентосные в широком смысле формы (эпифиты и эпилиты). Подавляющее число отмеченных таксонов имеют широкое географическое

распространение или космополиты – 76% видов. Среди видов-индикаторов солености воды более 70% являются индифферентными к этому показателю формами. По отношению к кислотности среды в водоеме преобладали виды-алкалифилы (более 50%). Из 91 зарегистрированного таксона водорослей рангом ниже рода 71 являются видами – показателями различной степени органического загрязнения водоема (видами-сапробионтами). Среди них водоросли, показатели низкой степени содержания органического вещества (χ и χ -о-сапробы), составляли 21% от общего числа видов-сапробионтов. На долю видов, показателей средней степени органического загрязнения (β -мезосапробов), приходился 61%, а индикаторы высокой степени органического загрязнения (β - α - β -р сапробы) составляют 18%.

В пробах льда и подледной воды исследованных водоемов Карелии зафиксировано 97 видов и разновидностей Bacillariophyta. Среди обнаруженных водорослей 12 оказались новыми для флоры Онежского озера, 9 – для Республики Карелия, 1 – для России и 6 определены только до рода. Максимальное число видов отмечено в родах *Fragilaria* (6), *Pinnularia* (6) и *Navicula* (8), а наибольшее таксономическое разнообразие выявлено в Тарасмозере (28) и Онежском озере (32). В большинстве исследованных водоемов в видовом отношении сообщества подледной воды были богаче сообществ льда.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственных заданий по темам “Систематика, разнообразие и филогения водных автотрофных организмов России и других регионов мира” (№ АААА-А18-118012690095-4), “Закономерности функционирования и динамики сообществ гидробионтов водных экосистем Европейского Севера” (№ 0221-2017-0045).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Afonina E.Yu., Tashlikova N.A., Tsybekmitova G.Ts., Obyazov V.A. 2017. Algae and invertebrates in freshwater ice (Zabaikalsky krai). – *Kriosfera Zemli*. 21 (5): 60–68.
[https://doi.org/10.21782/EC1560-7496-2017-5\(60-68\)](https://doi.org/10.21782/EC1560-7496-2017-5(60-68))
- Algae and Cyanobacteria in Extreme Environment. 2007. Jerusalem. 812 p. ISBN 978-1-4020-6112-7
- [Balonov] Балонов И.М. 1975. Подготовка водорослей к электронной микроскопии. – В кн.: Методика изучения биогеоценозов. М. С. 87–89.
- [Chudaev, Gololobova] Чудаев Д.А., Гололобова М.А. 2016. Диатомовые водоросли озера Глубокого (Московская область). М. 447 с.

- Cleve. P.T., Grunow. A. 1880: Beitrage zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. — K. Svenska Verensk. Akad. Handl. 17: 1–21.
- Efremova T., Palshin N., Zdorovenov R. 2013. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes Estonian. — RJES. 62 (1): 33–41.
<https://doi.org/10.3176/earth.2013.04>
- Ehrenberg C.G. 1841: Einen Nachtrag zu dem Vortrage über Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd- und Nord-America. — Akad. Wiss. Berlin.: 202–207.
- Genkal S.I. 2004. Morphological variability and taxonomy of *Diatoma tenue* Ag. (Bacillariophyta). — Int. J. Algae. 6 (4): 319–330.
- [Genkal, Belyaeva] Генкал С.И., Беляева П.Г. 2011. Диатомовые водоросли (Centrophyceae) Камского водохранилища (Россия). — Альгология. 21 (3): 312–320.
- [Genkal, Bondarenko] Генкал С.И., Бондаренко Н.А. 2011. Диатомовые водоросли горных озер Джергинского заповедника (Прибайкалье). 2. Pennatophyceae. — Поволжский экологический журнал. 3: 266–279.
- [Genkal et al.] Генкал С.И., Бондаренко Н.А., Щур Л.А. 2011. Диатомовые водоросли озер юга и севера Восточной Сибири. Рыбинск. 72 с.
- [Genkal, Korneva] Генкал С.И., Корнева Л.Г. 2001. Новые находки диатомовых водорослей (Centrophyceae) из волжских водохранилищ. — Альгология. 11 (4): 457–461.
- [Genkal, Okhapkin] Генкал С.И., Охапкин А.Г. 2013. Центрические диатомовые водоросли (Centrophyceae) нижнего течения р. Оки (Россия). — Гидробиол. журн. 49 (1): 44–61.
- [Genkal, Kharitonov] Генкал С.И., Харитонов В.Г. 2008. О новой находке *Asterionella ralfsii* (Bacillariophyta) в России. — Новости сист. низш. раст. 42: 10–13.
- [Genkal et al.] Генкал С.И., Чекрыжева Т.А., Комулайнен С.Ф. 2015. Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии. М. 202 с.
- [Genkal, Yarushina] Генкал С.И., Ярушина М.И. 2017. *Sellaphora vekhovii* и *S. elorantana* (Bacillariophyta): морфология, таксономия, распространение в России. — Новости сист. низш. раст. 51: 23–36.
- [Genkal, Yarushina] Генкал С.И., Ярушина М.И. 2018. Диатомовые водоросли слабоизученных водных экосистем Крайнего Севера Западной Сибири. М. 212 с.
- Grunow A. 1884. Die Diatomeen von Franz Josefs-Land. Denkschr. Kaiser. — Akad. Wiss. Math.-Naturwiss. Cl. Wien. 48 (2): 53–112.
- Hampton S.E., Moore M.V., Ozersky T., Stanley E.H., Polashenski C.M., Galloway A.W. 2015. Heating up a cold subject: prospects for under-ice plankton research in lakes. — J. Plankton Res. 37: 277–284.
<https://doi.org/10.1111/ele.12699>
- [Kharitonov] Харитонов В.Г. 2014. Диатомовые водоросли Колымы. Магадан. 496 с.
- Komulaynen S., Slastina J., Klochkova M. 2012. Winter algae communities in the lakes and rivers ecosystems (Karelia, Russia). — In: Current advances in algal taxonomy and its applications: phylogenetic, ecological and applied perspective. Krakow. P. 243–251.
- [Korzhoval] Коржова Л.В. 2013. Оценка экологического состояния озера Калач (г. Калачинск, Омская область) по показателям развития фитопланктона: Дис. ... канд. биол. наук. Омск. 136 с.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. — Die Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3. Stuttgart; New York. P. 1–576.
- [Kulikovskii et al.] Куликовский М.С., Глушенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. 2016. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль. 804 с.
- [Kuzmin, Balonov] Кузьмин Г.В., Балонов И.М. 1974. О подледном цветении воды Рыбинского водохранилища. — Информ. бюл. Биол. внутр. вод. 21: 21–25.
- Lange-Bertalot H., Moser G. 1994. *Brachysira*. Monographie der Gattung. — Bibl. Diatomol. 29: 1–212.
- [Melnikov] Мельников В.П. 2014. К созданию цельного образа криосферы. — Криосфера Земли. 18 (4): 3–12.
- [Opredelitel'...] Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. 1951. М. 619 с.
- Öterler B. 2017. Winter Phytoplankton Composition Occurring in a Temporarily Ice-Covered Lake: a Case Study. — P. J. Environ. Stud. 26 (6): 2677–2688.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/74015>
- Petrova N.A. 1986. Seasonality of *Melosira* plankton on the grate northern lakes. — Hydrobiol. 138: 65–73.
- Prowse T., Alfredsen K., Beltaos S., Bonsal B., Duguay C., Korhola A., McNamara J., Pienitz R., Vincent W.F., Vuglinsky V., Weyhenmeyer G.A. 2011. Past and Future Changes in Arctic Lake and River Ice. — AMBIO. 40: 53–62.
- [River] Ривьер И.К. 1984. Жизнь подо льдом. Природа. 1: 77–80.
- Salonen K., Leppäranta M., Viljanen M., Gulati R.D. 2009. Perspectives in winter limnology: closing the annual cycle of freezing lakes. — Aquat. Ecol. 43: 609–616.
<https://doi.org/10.1007/s10452-009-9278-z>
- [Slastina et al.] Сластина Ю.Л., Комулайнен С.Ф., Потахин М.С., Ключкова М.А. 2011. Структура криофитона в озерах города Петрозаводска. — Труды Карельского научного центра РАН. 4: 138–141.
- Woodward G., Perkins D.M., Brown L.E. 2010. Climate change and freshwater ecosystems. — Phil. Trans. R. Soc. B. 365: 2093–2106.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0055>

Diatoms of Ice and Winter Phytoplankton in Some Lakes of Karelia

S. I. Genkal^{a,#} and S. F. Komulaynen^{b,##}

^a Papanin Institute for Biology of Inland Waters of Russian Academy of Sciences
Borok, Nekouzskii Distr., Yaroslavl Region, 152742, Russia

^b Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS
Pushkinskaya Str., 11, Petrozavodsk, 185910, Russia

[#]e-mail: genkal@ibiw.yaroslavl.ru

^{##}e-mail: komsf@mail.ru

This scanning electron microscopy study of diatom algae in ice and ice water samples from eight lakes and waterbodies of Karelia has revealed 97 species and varieties of Bacillariophyta. Of these, 12 ones are new for the flora of Onega Lake, 9 – for the Republic of Karelia, *Brachysira liliانا* Lange-Bertalot – for Russia, and 6 are identified only to the genus. The maximum number of species is found in the genera *Fragilaria* (6), *Pinnularia* (6) and *Navicula* (8). The highest taxonomic diversity is recorded in Tarasmozero Lake and Onega Lake.

Keywords: Bacillariophyta, winter phytoplankton, ice, lakes, Karelia

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out as a part of state assignments “Systematics, diversity and phylogeny of aquatic autotrophic organisms in Russia and other regions of the world” (No. AAAA-A18-118012690095-4), and “Regularities of the functioning and dynamics of communities of hydrobiota in aquatic ecosystems of the European North” (No. 0221-2017-0045).

REFERENCES

- Afonina E.Yu., Tashlikova N.A., Tsybekmitova G.T., Obyazov V.A. 2017. Algae and invertebrates in freshwater ice (Zabaikalskii kraï). – *Kriosfera Zemli*. 21 (5): 60–68.
[https://doi.org/10.21782/EC1560-7496-2017-5\(60-68\)](https://doi.org/10.21782/EC1560-7496-2017-5(60-68))
- Algae and Cyanobacteria in Extreme Environment. 2007. Jerusalem. 812 p.
- Balonov I.M. 1975. Podgotovka vodorosley k elektronnoy mikroskopii [Preparation of algae for electron microscopy]. – In: Metodika izucheniya boigeotsenzov. Moscow. P. 87–89 (In Russ.).
- Chudaev D.A., Gololobova M.A. 2016. Diatomovye vodorosli ozera Glubokogo (Moskovskaya oblast) [Diatoms of lake Glubokoye (Moscow region)]. Moscow. 447 p. (In Russ.).
- Cleve. P.T., Grunow. A. 1880. Beitrage zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. – *K. Svenska Verensk. Akad. Handl.* 17: 1–21.
- Efremova T., Palshin N., Zdorovenov R. 2013. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes Estonian. – *RJES*. 62 (1): 33–41.
<https://doi.org/10.3176/earth.2013.04>
- Ehrenberg C.G. 1841: Einen Nachtrag zu dem Vortrage iiber Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Siid- und Nard-America. – *Akad. Wiss. Berlin*. P. 202–207.
- Genkal S.I. 2004. Morphological variability and taxonomy of *Diatoma tenue* Ag. (Bacillariophyta). – *Int. J. Algae*. 6 (4): 319–330.
- Genkal S.I., Belyaeva P.G. 2011. Diatomovye vodorosli (Centrophyceae) Kamskogo vodokhranilishcha (Russia) [Diatoms (Centrophyceae) of the Kama reservoir (Russia)]. – *Algologia*. 21 (3): 312–320 (In Russ.).
- Genkal S.I., Bondarenko N.A. 2011. Diatomovye vodorosli gornyx ozer Dzerzhinskogo zapovednika (Pribaykale) [Diatom algae in mountain lakes of the Dzherginskiy reserve (the Baikal area)]. 2. Pennatophyceae. – *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*. 3: 266–279 (In Russ.).
- Genkal S.I., Bondarenko N.A., Shur L.A. 2011. Diatomovye vodorosli ozer yuga i severa Vostochnoi Sibiri [Diatoms of lakes in the South and North of Eastern Siberia]. Rybinsk. 72 p. (In Russ.).
- Genkal S.I., Kharitonov V.G. 2008. O novoy nakhodke *Asterionella ralfsii* (Bacillariophyta) v Rossii [On the new discovery of *Asterionella ralfsii* (Bacillariophyta) in Russia]. – *Novosti Sist. Nizsh. Rrast*. 42: 10–13 (In Russ.).
- Genkal S.I., Korneva L.G. 2001. Novye nakhodki diatomovykh vodoroslei (Centrophyceae) iz volzhskikh vodokhranilishch [New findings of diatoms (Centrophyceae) from Volga reservoirs]. – *Algologia*. 11 (4): 457–461 (In Russ.).
- Genkal S.I., Okhapkin A.G. 2013. Tsentricheskije diatomovye vodorosli Centrophyceae) nizhnego techeniya r. Oki (Russia) [Centric diatoms (Centrophyceae) of the lower Oka river (Russia)]. – *Hydrobiol. zhurn*. 49 (1): 44–61 (In Russ.).
- Genkal S.I., Chekryzheva T.A., Komulaynen S.F. 2015. Diatomovye vodorosli vodoemov i vodotokov Karelii [Diatoms of water bodies and watercourses of Karelia]. Moscow. 202 p. (In Russ.).
- Genkal S.I., Yarushina M.I. 2017. *Sellaphora vekhovii* i *S. elorantana* (Bacillariophyta): morfologiya, taksonomiya, rasprostranenie v Rossii [*Sellaphora vekhovii* and *S. elorantana* (Bacillariophyta): morphology, taxonomy, distribution in Russia]. – *Novosti Sist. Nizsh. Rast*. 51: 23–36 (In Russ.).
- Genkal S.I., Yarushina M.I. 2018. Diatomovye vodorosli slaboizuchennykh vodnykh ekosistem Krainego Severa Zapadnoi Sibiri [Diatoms of poorly studied aquatic

- ecosystems of the Far North of Western Siberia]. Moscow. 212 p. (In Russ.).
- Grunow A. 1884. Die Diatomeen von Franz Josefs-Land. — Denkschr. Kaiser. Akad. Wiss. Math.-Naturwiss. Cl. Wien. 48 (2): 53–112.
- Hampton S.E., Moore M.V., Ozersky T., Stanley E.H., Polashenski C.M., Galloway A.W. 2015. Heating up a cold subject: prospects for under-ice plankton research in lakes. — *J. Plankton Res.* 37: 277–284. <https://doi.org/10.1111/ele.12699>
- Kharitonov V.G. 2014. Diatoms of Kolyma. Magadan. 496 p. (In Russ.).
- Komulaynen S., Slastina J., Klochkova M. 2012. Winter algal communities in the lakes and rivers ecosystems (Karelia, Russia). — In: Current advances in algal taxonomy and its applications: phylogenetic, ecological and applied perspective. Krakow. P. 243–251.
- Korzhova L.V. 2013. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya ozera Kalach (g. Kalachinsk, Omskaya oblast) po pokazatelyam razvitiya fitoplanktona [Assessment of the ecological state of lake Kalach (Kalachinsk, Omsk region) on indicators of phytoplankton development]: Diss. ... kand. biol. nauk. Omsk. 136 p. (In Russ.).
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. — *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 2/3. Stuttgart; New York. 1–576.
- Kulikovskiy M.S., Glushchtnko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. 2016. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl. 804 p.
- Kuzmin G.V., Balonov I.M. 1974. O podlednom tsvetenii vody Rybinskogo vodokhranilishcha [About ice flowering of water of the Rybinsk reservoir]. — *Inform. byul. Biologiya vnutrennikh vod.* 21: 21–25 (In Russ.).
- Lange-Bertalot H., Moser G. 1994. *Brachysira*. Monographie der Gattung. — *Bibl. Diatomol.* 29: 1–212.
- Melnikov V.P. 2014. K sozdaniyu tselnogo obraza kriosfery [Towards the creation of a whole image of the cryosphere]. — *Kriosfera Zemli.* 18 (4): 3–12 (In Russ.).
- Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR. Vyp. 4. Diatomovye vodorosli [Determinant of freshwater algae of the USSR. Iss. 4. Diatom] 1951. Moscow. 619 p. (In Russ.).
- Österler B. 2017. Winter Phytoplankton Composition Occurring in a Temporarily Ice-Covered Lake: a Case Study. — *Pol. J. Environ. Stud.* 26 (6): 2677–2688. <https://doi.org/10.15244/pjoes/74015>
- Petrova N.A. 1986. Seasonality of *Melosira* plankton on the grate northern lakes. — *Hydrobiol.* 138: 65–73.
- Prowse T., Alfredsen K., Beltaos S., Bonsal B., Duguay C., Korhola A., McNamara J., Pienitz R., Vincent W.F., Vuglinsky V., Weyhenmeyer G.A. 2011. Past and Future Changes in Arctic Lake and River Ice. — *AMBIO.* 40: 53–62.
- River I.K. 1984. Zhizn podo ldom [Life under the ice]. — *Priroda.* 1: 77–80 (In Russ.).
- Salonen K., Leppäranta M., Viljanen M., Gulati R.D. 2009. Perspectives in winter limnology: closing the annual cycle of freezing lakes. — *Aquat Ecol.* 43: 609–616. <https://doi.org/10.1007/s10452-009-9278-z>
- Slastina Yu.L., Komulaynen S.F., Potakhin M.S., Klochkova M.A. 2011. Struktura kriofitona v ozerakh goroda Petrozavodsk. — *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN.* 4: 138–141 (In Russ.).
- Woodward G., Perkins D.M., Brown L.E. 2010. Climate change and freshwater ecosystems. — *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365: 2093–2106. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0055>