

УДК 556.114.7(282.247.211)

## ЛАБИЛЬНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА (УГЛЕВОДЫ, ЛИПИДЫ И БЕЛКИ) В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

**Т. А. Ефремова, А. В. Сабылина, П. А. Лозовик**

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН*

Впервые проведены исследования содержания лабильных органических веществ (углеводов, липидов, белков) в отдельных районах акватории Онежского озера, отличающихся по уровню трофности, речному притоку и антропогенному воздействию. Эти соединения могут служить индикаторами экологического состояния водного объекта. Среди исследованных веществ преобладают углеводы, содержание которых в олиготрофных районах озера в среднем составляет 2,2 мг/л, а в антропогенно эвтрофированных заливах в 2 раза выше. Концентрации липидов и белков в среднем по озеру составляют 0,35 и 0,32 мг/л соответственно, и их содержание в заливах несколько выше, чем в центре озера, что связано с более высоким уровнем трофии заливов. Содержание липидов в озере максимально в весенний период.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** Онежское озеро, органическое вещество, автохтонное органическое вещество, аллохтонное органическое вещество, углеводы, белки, липиды.

### **T. A. Efremova, A. V. Sabylina, P. A. Lozovik. LABILE ORGANIC MATTER (CARBOHYDRATES, LIPIDS AND PROTEINS) IN LAKE ONEGA**

First studies of the labile organic matter (OM) (carbohydrates, lipids, proteins) in different parts of Lake Onega which differ in the trophic status, discharge from rivers and human impact were carried out. These compounds can serve as indicators of the ecological status of the lake. Carbohydrates prevail among labile OM. Their content in the oligotrophic parts of the lake was on average 2.2 mg/l, and twice higher in the anthropogenically eutrophic bays. The concentrations of lipids and proteins in the lake were on average 0.35 and 0.32 mg/l, respectively, and their content was a little higher in the bays than in the lake center, due to the higher trophic levels in bays compared with the pelagic zone. The content of lipids in the lake was the highest in spring.

**Key words:** Lake Onega, organic matter, autochthonous organic matter, allochthonous organic matter, carbohydrates, proteins, lipids.

### **Введение**

Органическое вещество (ОВ) в природных водах имеет в основном два источника происхождения. Это аллохтонное ОВ, образовавшееся при разложении наземной растительности и поступающее с водосбора, и автохтонное ОВ, которое образуется в результате

протекания продукционно-деструкционных процессов в водоеме.

Основным источником автохтонного ОВ в водоеме являются одноклеточные водоросли. Углеводы – первые продукты фотосинтетически аккумулированного углерода в биосфере. Освещенность, температура воды, содержание в ней биогенных элементов не только определяют

количественные показатели продукции автотрофов, но и оказывают влияние на состав их ОВ. Например, при понижении температуры среды обитания в фитопланктоне изменяется соотношение полисахаридов и липидов в сторону увеличения последних [Ackman et al., 1974; Романкевич и др., 1982; Раймонт, 1983; Hedges, 1992; Агатова и др., 1994, 2011; Беляева, 2004]. Для видов фитопланктона северных водоемов характерно повышенное (в среднем в 2 раза) содержание аминокислот по сравнению с южными. Липиды, углеводы и белки могут служить индикаторами экологического состояния водных объектов, поскольку на их содержании отражается развитие биоты в водоемах [Gerin, Goutx, 1994].

У разных видов фитопланктона, в зависимости от видовой принадлежности, содержание углеводов, липидов и белков в расчете на сухую массу варьирует в широких пределах. Количество углеводов в расчете на сухую массу в водорослях изменяется от 6 до 60 % [Сиренко, Гавриленко, 1978; Раймонт, 1988; Myklestad, 2000]. Концентрация общих липидов в планктоне изменяется в широких пределах – от 2 до 44 %, максимальное содержание характерно для диатомовых водорослей, минимальное – для сине-зеленых [Раймонт, 1988; Viron et al., 2000; Басова, 2003]. Доля белков в фитопланктоне разных видов водорослей высокая – в среднем составляет 30 %, и она в 2–3 раза выше, чем в наземных растениях [Раймонт, 1983; Саут, Уиттик, 1990].

За год в Онежском озере, исходя из разных литературных источников оценки первичной продукции (ПП), образуется порядка 150 тыс. т органического углерода [Тимакова, 1999; Теканова, 2012]. С речными, сточными водами и атмосферными осадками поступает 323 тыс. т  $C_{орг}$  [Сабылина и др., 2010, 2012] (рис. 1).

В Центральном Онего и заливе Большое Онего среднесуточная ПП составляет 114,0 и 106,2, а хемолитотрофная нитрификация – 8,1 и 3,0  $мгC/(м^2 \cdot сутки)$  соответственно. В центральной части озера средняя годовая ПП равняется 15,5  $гC/м^2$ . В Петрозаводской и Кондопожской губах (заливах) она выше и достигает 31 и 50  $гC/м^2$  в год соответственно. Первичный синтез ОВ хемоавтотрофами в Онежском озере невысокий и составляет 4 % от ПП фитопланктона [Теканова, 2012; Тимакова, Лежнева, 2012].

Весной фитопланктон Онежского озера представлен в основном диатомовыми водорослями (98 % общей численности). В период летней стагнации в Онежском озере, особенно в его антропогенно эвтрофированных губах (Кондопожской и Петрозаводской), наблюдается возрастание видового разнообразия фитопланктона. Хотя численность (45 %) и биомасса (~ 50 %) диатомей по-прежнему является преобладающей, в планктоне возрастает доля зеленых (до 25 %) и сине-зеленых (до 15–20 %) водорослей. Зимний планктон представлен диатомовыми водорослями [Вислянская, 1990; Чекрыжева, 2008]. Весной биомасса фитопланктона в Центральном Онего составляет около 0,7  $г/м^3$ .

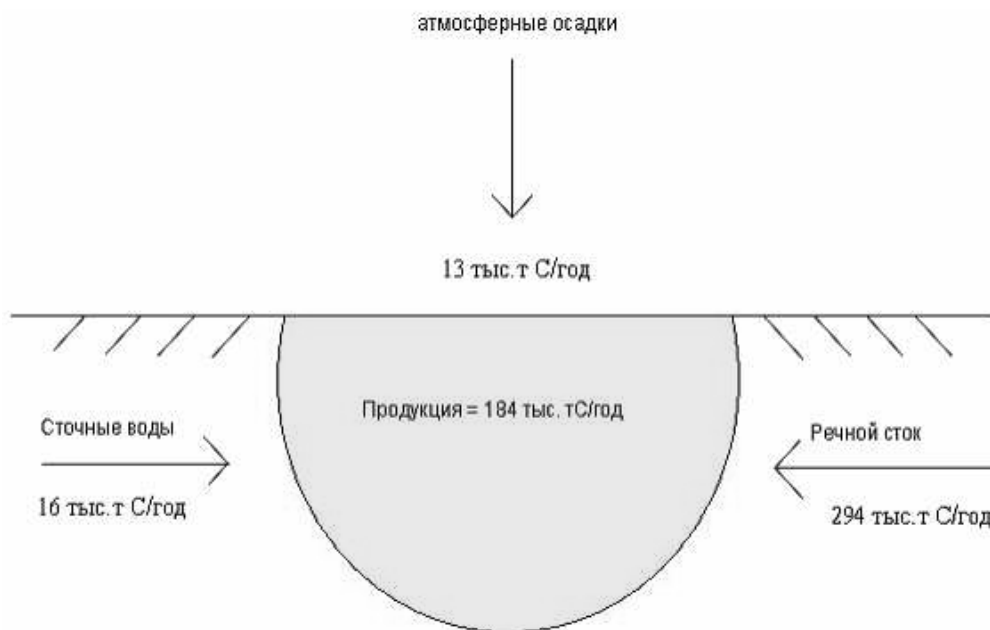


Рис. 1. Поступление органического углерода в озеро от внешних источников и его образование за счет продукционных процессов

## Объекты и методы исследования

Исследование содержания углеводов, липидов и белков проводилось в центральной части Онежского озера, заливе Большое Онего, Петрозаводской и Кондопожской губах (рис. 2).

Онежское озеро, расположенное между 60°53' и 62°54' с. ш., является одним из самых северных среди крупнейших озер мира, и это обуславливает особенности его радиационного и термического режима. Значительные размеры (площадь – 9720 км<sup>2</sup>, водосбор – 66,3 тыс. км<sup>2</sup>, средняя глубина – 30 м, максимальная – 105 м, объем водной массы – 291 км<sup>3</sup>) и большой период водообмена (15,6 года) служат причиной консервативности экосистемы озера.

Петрозаводская губа (площадь зеркала 73 км<sup>2</sup>, средняя глубина 16,0 м) выделяется из всех заливов Онежского озера высокой проточностью и значительным уровнем антропогенной нагрузки. На ее побережье расположен крупный промышленный центр г. Петрозаводск, с территории которого в губу ежегодно поступает 10 млн м<sup>3</sup> ливневых и дренажных вод, а в ее внешнюю часть сбрасывается около 50 млн м<sup>3</sup> сточных вод города. В Петрозаводскую губу впадает один из крупных притоков озера – р. Шуя со среднемноголетним расходом воды 3,1 км<sup>3</sup>/год.

Кондопожская губа – один из наиболее крупных и глубоководных заливов озера (площадь зеркала 223 км<sup>2</sup>, средняя глубина 21,0 м), в ко-

торый более 70 лет осуществляется сброс сточных вод Кондопожского ЦБК (~ 50 млн м<sup>3</sup>/год). Приточные воды р. Суны (2,4 км<sup>3</sup>/год) и более чистые озерные воды повышают качество воды в губе благодаря разбавлению. Для Кондопожской губы характерна большая локализация сточных вод, чем для Петрозаводской.

Пробы воды (n = 45) для исследования лабильных компонентов в воде Онежского озера отбирали на станциях, указанных на рис. 2. Определение углеводов, липидов и белков проводилось в двух повторностях. В ходе химического анализа определяли содержание в воде хлорофилла «а» (Chl «а»), биогенных элементов (P<sub>мин</sub>, P<sub>общ</sub>, N<sub>орг</sub>, N<sub>общ</sub>), величину перманганатной окисляемости (ПО) и БПК<sub>5</sub>. Для определения указанных выше компонентов использовались методы, применяемые для поверхностных вод [Руководство..., 1977]. Содержание C<sub>орг</sub> оценивалось расчетным методом по химическому потреблению кислорода (ХПК) воды (C<sub>орг</sub> = 0,375 ХПК), а концентрация общего растворенного ОВ (РОВ) принималась равной 2 x C<sub>орг</sub>. Указанная выше процедура широко применяется в гидрохимической практике. Оценка содержания автохтонного ОВ проведена по эмпирической формуле:

$$\rho_{\text{авт}} = 0,62 (\text{ХПК} / \sqrt{\text{ЦВ} \cdot \text{ПО}}) - 0,35 \text{ [Лозовик и др., 2007]},$$

где ЦВ – цветность воды, град.

ПО – перманганатная окисляемость, мгО/л.

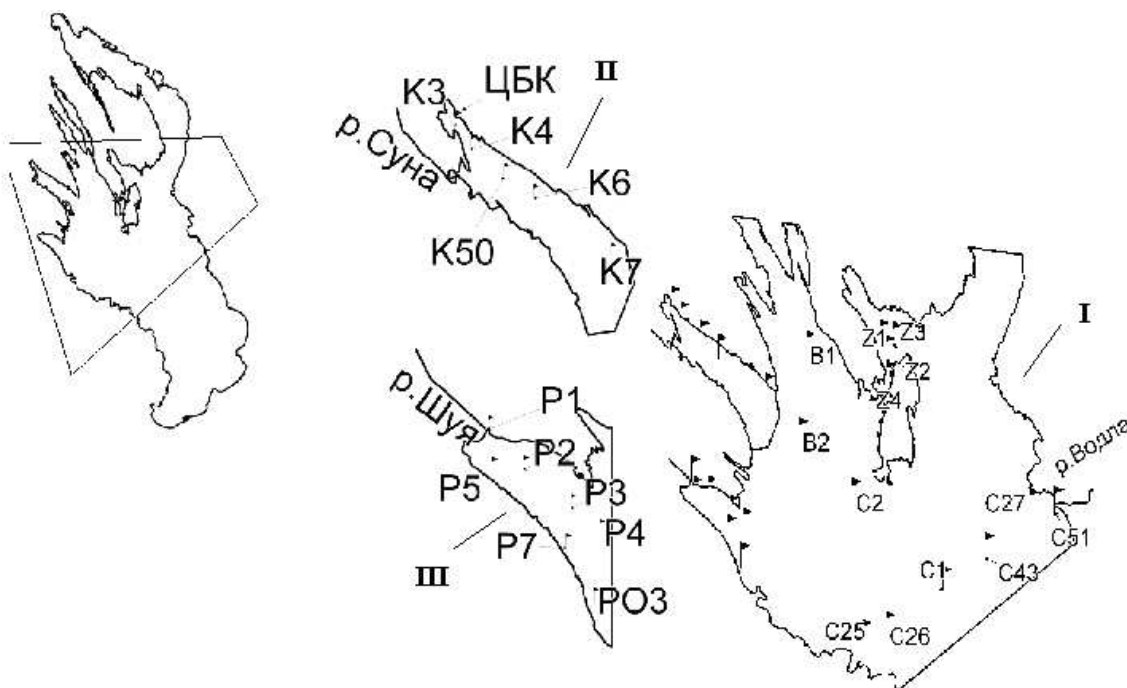


Рис. 2. Схема расположения станций отбора проб воды на Онежском озере:

I – Центральная часть озера и залив Большое Онего; II – Кондопожская губа; III – Петрозаводская губа

Для определения липидов, углеводов и белков использовались методы, применяемые в морской гидрохимии [Руководство..., 2004]. Углеводы определялись L-триптофановым методом [Johnson et al., 1977], а липиды – сульфосфосванилиновым методом [Josefsson et al., 1972]. Последние методы были модифицированы для анализа поверхностных вод, зачастую содержащих большое количество гумусовых веществ [Лозовик и др., 2007].

Концентрацию белков в воде определяли методом Макнайта [McKnight, 1977], отличающимся высокой чувствительностью (1 мкг белка в пробе) и позволяющим с высокой точностью определять концентрацию растворенного белка от 1 до 5 мкг. Кислотный краситель Кумасси R-250 при взаимодействии с белком дает яркое синее окрашивание. Реакцию (количественно) проводили на стекловолнистых фильтрах GF/F или GF/H (Ø 24 мм), на которых из раствора сорбируются белковые молекулы. Калибровочный график для расчета концентраций белка строили по бычьему сывороточному альбумину.

## Результаты и их обсуждение

Исследованные участки Онежского озера (см. рис. 2) отличаются между собой химиче-

скими показателями (табл. 1). Так, центральная часть озера и залив Большое Онего во все сезоны года характеризуется низким содержанием  $P_{\text{общ}}$  (7–8 мкг/л) и почти полным отсутствием минерального фосфора ( $\leq 2$  мкг/л). Вода в этих районах характеризуется небольшим содержанием органических веществ с преобладанием в период открытой воды автохтонного ОВ.

На гидрохимическом режиме обследованных губ (Петрозаводской и Кондопожской) сказывается влияние притоков и поступление сточных и дренажных вод с селитебных территорий. Немаловажное значение имеет их водообмен с Онежским озером, который по-разному проявляется в различные сезоны года. Воды Петрозаводской губы в весенний период характеризовались повышенной гумусностью и невысокой долей автохтонного ОВ (20–28 %), тогда как летом котловина губы была практически полностью заполнена водами Онежского озера. Показатели содержания ОВ в губе больше соответствуют онежским водам, а влияние р. Шуи – основного притока губы – было незначительным. Зимой трансформированные шуйские воды заполняют котловину губы на 60 % ее объема. Воды Петрозаводской губы по концентрации  $P_{\text{общ}}$  и содержанию Chl «а» соответствуют мезотрофному типу.

Таблица 1. Средние значения (по станциям и горизонтам) косвенных показателей содержания органического вещества, концентрации хлорофилла «а», минерального и общего фосфора в воде различных участков Онежского озера

Дата отбора проб	ХПК		Цветность, град.	$\rho_{\text{авт.}}$ , %	Chl «а», мкг/л	Фосфор, мкг/л	
	мгО/л					минер.	общий
Центральное Онего							
06.08.2011 г.	18,5	7,4	23	53	2,10	< 1	8
05.06.2012 г.	21,8	8,4	21	68	1,77	1	8
05.03.2013 г.	15,6	7,7	18	45	–	2	8
Залив Большое Онего							
06.08.2011 г.	20,0	7,6	23	59	2,10	< 1	8
05.06.2012 г.	21,5	7,2	20	76	0,53	1	7
Кондопожская губа							
Вершинная часть							
08.08.2011 г.	30,7	12,6	38	53	7,73	30	58
05.06.2012 г.	33,4	13,4	48	48	4,46	11	40
Центральная часть							
08.08.2011 г.	18,3	8,8	25	42	4,87	6	28
05.06.2012 г.	27,3	10,4	36	52	8,71	7	30
13.02.2013 г.	17,8	8,3	23	44	–	8	18
Внешняя часть							
08.08.2011 г.	18,4	8,7	25	44	2,03	4	16
05.06.2012 г.	24,0	8,9	23	70	3,66	5	18
Петрозаводская губа							
Вершинная часть							
04.06.2011 г.	32,2	16,4	80	21	4,91	5	26
Центральная часть							
08.08.2011 г.	21,4	8,2	25	58	5,20	< 1	15
04.06.2012 г.	32,4	14,0	78	20	2,53	4	21
12.02.2013 г.	8,9	8,5	33	45	–	5	14
Внешняя часть							
04.06.2011 г.	31,4	13,0	75	28	2,67	4	21

Таблица 2. Распределение углеводов (У), липидов (Л) и белков (Б) (медианные значения) в различных участках Онежского озера по сезонам года

Участок озера	Лето 2011 г., мг/л			Весна 2012 г., мг/л			Зима 2013 г., мг/л		Среднегодовые по участкам		
	У	Л	Б	У	Л	Б	У	Л	У	Л	Б
Центральный*	2,0	0,16	0,14	2,0	0,35	0,27	2,7	0,25	2,2	0,25	0,21
Кондопожская губа	1,2	0,21	0,16	3,1	0,9	0,29	1,2	0,16	1,8	0,42	0,24
Петрозаводская губа	0,9	0,24	не опр.	3,9	0,49	0,52	2,1	0,41	2,3	0,38	0,52
Среднесезонные по озеру	1,4	0,20	0,16	3,0	0,58	0,36	2,0	0,27	2,1	0,35	0,32

Примечание. \* Включая залив Большое Онего.

На качество воды в Кондопожской губе оказывают влияние сточные воды Кондопожского промцентра, сток р. Суны, а также водообмен губы с Онежским озером. Поступление сточных вод отражается в первую очередь на уровне трофии губы. Так, содержание  $P_{\text{общ}}$  в вершинной части губы достигает 40–60 мкг/л, и этот участок соответствует эвтрофному типу. Внешняя часть губы соответствует мезотрофному типу. В Кондопожской губе ОВ представлено практически в равных частях автохтонным и аллохтонным, и только весной 2012 г. во внешней части губы преваляло автохтонное ОВ.

Наблюдения за содержанием биохимически лабильных компонентов ОВ в центральном плесе Онежского озера, Кондопожской и Петрозаводской губах проводились летом 2011 г., весной 2012 г. и зимой 2013 г. Несмотря на различные годы наблюдения, полученные данные позволяют дать характеристику сезонного распределения и выявить особенности их содержания в различных участках Онежского

озера (табл. 2). Большое значение для нормального метаболизма водной экосистемы имеют не запасы ОВ, а наличие в составе растворенного, взвешенного ОВ легкоусвояемых биохимических компонентов (углеводов, липидов, белков) и интенсивность превращения метаболитов на разных трофических уровнях экосистемы данного водоема. Это отражается на экологической обстановке водоема в целом.

Показатели среднегодового содержания углеводов в центральной части Онежского озера, в заливе Большое Онего, Петрозаводской и Кондопожской губах достаточно близки и соответствуют значению 2,1 мг/л. В составе растворенного ОВ на долю углеводов приходится 6–29 % (в среднем 14 %). Следует учесть, что обнаруживаемые в воде углеводы составляют только часть их суммы, выделяемой организмами, из-за быстрой утилизации углеводов бактериями. В летний период года численность бактерий возрастает в 2–3 раза [Тимакова и др., 2012]. Количество растворенных углеводов,

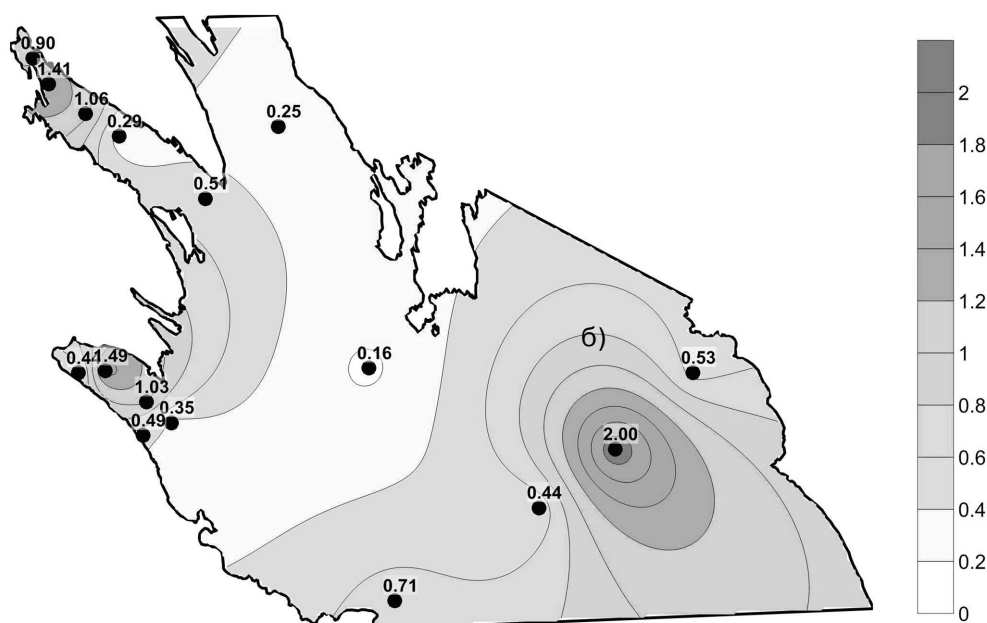


Рис. 3. Концентрация липидов (мг/л) в поверхностном слое воды Онежского озера в весенний период 2012 г.



Таблица 3. Среднее содержание биохимических лабильных ОВ в озерах Карелии, Камчатки, Белом море, Северном Ледовитом океане и южных морях России

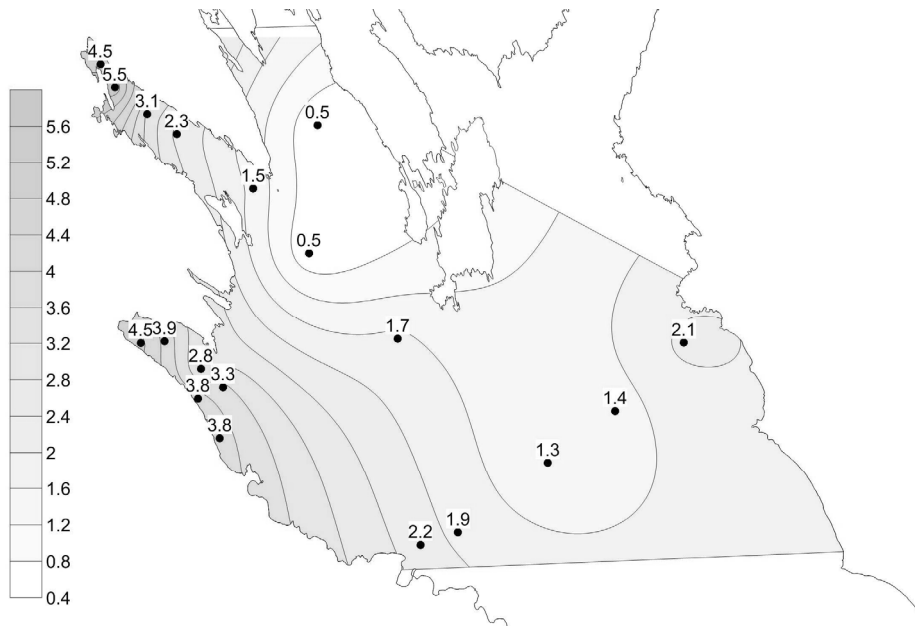
Озеро, район	Сезон исследования	Углеводы		Липиды		Белки		Источник
		мг/л	% РОВ	мг/л	% РОВ	мг/л	% РОВ	
Озера Карелии								
Уросозеро, Вендюрское, Вегарус, Салонъярви, Крошнозеро, Святозеро, Валгомозеро, Яндомозеро, Урозеро	лето	3,0	18	0,25	2	–	–	Наши данные
	зима	3,2	19	0,17	1	–	–	
	весна	3	18	0,46	3	0,28	2	
Озера Камчатки								
Курильское	лето	2,11	57	0,70	19	0,15	4	Агатова и др., 2004
	осень	1,14	45	0,65	14	0,22	5	
Азабачье	лето	1,28	30	1,67	37	0,51	12	
Белое море								
Кандалакшский залив 66°25' с. ш. 34°22' в. д.	весна	2,75	21	0,93	7	0,092	0,7	Агатова и др., 1994
	лето	3,21	30	1,92	18	0,078	0,7	
	осень	2,62	25	0,83	9	0,098	1,0	
Северный Ледовитый океан								
Шельф 65°–120° в. д.		1,42	32	1,16	20	0,061	1,3	Агатова и др., 2002, 2011
		0,87	24	0,64	18	0,045	1,0	
Материковый склон 65°–120° в. д.		1,31	40	0,61	37	0,041	1,3	
		1,07	39	0,53	21	0,024	1,0	
Глубоководный район 65°–120° в. д.		1,44	39	–	–	0,059	1,7	
		1,1	51	0,59	27	0,027	1,2	
Черное море								
Северо-восточ. шельф 43°–45° с. ш. 36°–40° в. д.	лето	1,43	14	1,32	14	0,94	1,0	Агатова и др., 2005а
	осень	2,08	33	0,95	14	0,93	1,4	
Континентальный склон пелагиаль		1,08	11	–	–	–	–	
		0,94	12	–	–	–	–	
Каспийское море								
Средний Каспий 40°–58° с. ш. 49°–50° в. д.		4,5	32	1,95	14	–	–	Агатова и др., 2005б

синтезируемых фитопланктоном в бактериально чистых условиях, на порядок превышает их количество, продуцируемое в естественных условиях [Wangersky, 1959]. Концентрации липидов и белков несколько выше в губах, чем в центре озера, что, по-видимому, связано с более высоким уровнем трофии губ, чем центральной части озера (см. табл. 2). Содержание белков и липидов было приблизительно одинаково, а углеводов в 6 раз выше. Весной концентрация липидов (рис. 3) равняется в среднем 0,58 мг/л и является наибольшей в году, что связано с вегетацией диатомового планктона, в котором содержание липидов максимальное (в среднем 35–44 % сухой массы) по сравнению с другими водорослями.

Наиболее высокие концентрации углеводов были отмечены весной 2012 г. в Петрозаводской и Кондопожской губах (3,1–3,9 мг/л), что обусловлено более высокой гумусностью их вод в этот период (рис. 4). Известно, что гумусовые вещества – это продукт конденсации лигнина, углеводов и аминокислот [Орлов, 1990].

Для выяснения соотношения взвешенных и растворенных углеводов, а также углеводов, связанных с гумусовыми веществами, в отдельных пробах воды проводился их анализ в исходной воде, в воде после удаления взвешенных веществ путем центрифугирования и в воде после удаления гумусовых веществ адсорбцией на ДЭАЭ-целлюлозе. В результате выполненной работы установлено, что содержание углеводов в составе взвешенного вещества низкое (в пределах 10–20 % от общего содержания). На долю связанных углеводов в центральной части Онежского озера весной 2012 г. приходилось 15 %, а в Петрозаводской и Кондопожской губах – 40–50 %. Воды Центрального Онега бедны гумусовыми веществами, тогда как в губах в этот период наблюдений их содержание было повышено. Анализ липидов в единичных пробах воды до и после центрифугирования дал близкие результаты, что свидетельствует о преобладании в воде растворенных форм липидов, а не взвешенных.

а)



б)

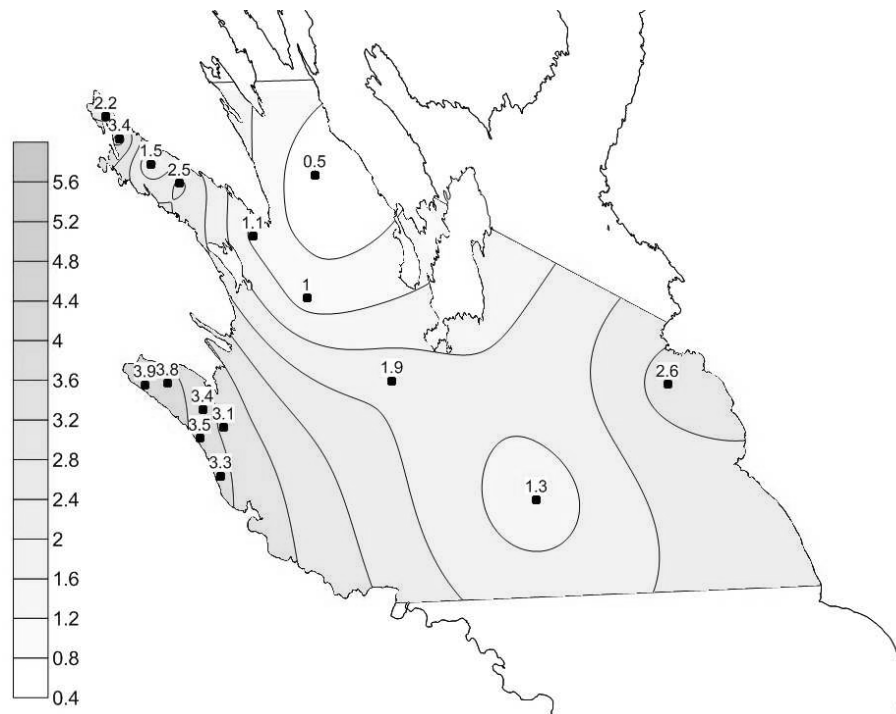


Рис. 4. Содержание углеводов (мг/л) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях воды Онежского озера весной 2012 года

Средние концентрации углеводов, липидов и белков, полученные на одинаковой методической основе, в Онежском озере (см. табл. 2) соизмеримы с их содержанием в других озерах (карельских и камчатских), в южных и северных морях России (табл. 3). Углеводы являются основным компонентом растворенного ОБ в озерах и морях России, в том числе в Онежском озере. В воде карельских озер содержание углеводов достига-

ет 20 %, в камчатских озерах – 60 %, а в Каспийском море – 32 % РОВ. Растворенные липиды в арктических морях России и озерах Камчатки вносят большой вклад в общий пул растворенного ОБ, сопоставимый с углеводами. Содержание растворенных белков в морских водах близко к их концентрациям в Онежском озере. Они составляют незначительную долю в РОВ (2 %) по сравнению с углеводами (см. табл. 3).

## Выводы

Одним из биохимически лабильных компонентов в воде Онежского озера являются углеводы, на долю которых в составе РОВ приходится в среднем 14 %, а от суммы лабильных веществ (липидов, белков, углеводов) – 70 %.

Концентрации углеводов, липидов и белков в центральной части озера зависят от синтезированного фитопланктоном ОВ, тогда как в губах на их содержании сказывается еще и поступление аллохтонного ОВ с речными и сточными водами.

Количество липидов и белков в составе РОВ примерно одинаково и по сравнению с углеводами (по углероду) в 5–6 раз меньше. В весенний период за счет вегетации диатомовых водорослей отмечено наибольшее содержание липидов в воде Онежского озера. В целом данные по содержанию углеводов, липидов и белков в Онежском озере согласуются с литературными данными по другим северным водным объектам России, и их содержание в определенной степени отражает экологическое состояние водоема.

## Литература

- Агатова А. И., Аржанова Н. В., Лапина Н. М., Торгунова Н. И., Красюков Д. В. Пространственно-временная изменчивость органического вещества в прибрежных экосистемах Кавказского шельфа Черного моря // *Океанология*. 2005а. Т. 45, № 5. С. 670–677.
- Агатова А. И., Дафнер Е. В., Торгунова Н. И. Биохимический состав органического вещества Белого моря и скорости регенерации биогенных элементов в летний период. Комплексные исследования экосистемы Белого моря: Сборник научных трудов. М.: ВНИРО, 1994. С. 53–76.
- Агатова А. И., Кирпичев К. Б., Лапина Н. М., Лукьянова О. Н., Сапожников В. В., Торгунова Н. И. Органическое вещество Каспийского моря // *Океанология*. 2005б. Т. 45, № 6. С. 841–850.
- Агатова А. И., Лапина Н. М., Торгунова Н. И. Органическое вещество в водах Арктических морей // *Арктика и Антарктика*. Вып. I (35). 2002. С. 172–192.
- Агатова А. И., Лапина Н. М., Торгунова Н. И., Сапожников В. В., Миловская Л. В. Органическое вещество и скорости его трансформации в нерестово-нагульных озерах Камчатки // *Водные ресурсы*. 2004. Т. 31, № 6. С. 691–701.
- Агатова А. И., Лапина Н. М., Торгунова Н. И. Органическое вещество, его элементарный состав в водах российской части Арктического бассейна в современных условиях // *Океанология*. 2011. Т. 51, № 3. С. 450–460.
- Басова М. М. Жирнокислотный состав липидов микроводорослей (обзор). Севастополь: ИнБЮМ. 2003. 34 с.
- Беляева А. Н. Молекулярный состав органического вещества в океане. Новые идеи в океанологии. М.: Наука, 2004. С. 325–350.
- Вислянская И. Г. Фитопланктон. Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 183–192.
- Лозовик П. А., Морозов А. К., Зобков М. Б., Духовичева Т. А., Осипова Л. А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // *Водные ресурсы*. 2007. Т. 34, № 26. С. 225–237.
- Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. Изд-во МГУ, М., 1990. 325 с.
- Раймонт Дж. Планктон и продуктивность океана. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. С. 214–229.
- Раймонт Дж. Планктон и продуктивность океана. Т. 2. Зоопланктон: в 2-х частях. 4. II. М.: Агропромиздат, 1988. С. 223–263.
- Романкович Е. А., Данюшевская А. И., Беляева А. Н., Русаков В. П. Биогеохимия органического вещества арктических морей. М.: Наука, 1982. С. 198–239.
- Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры. М.: Издательство ВНИРО, 2004. 123 с.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Ред. А. Д. Семенов. Л., 1977. 540 с.
- Сабылина А. В., Ефремова Т. А., Рыжиков А. В., Зобков М. Б. Биогенные элементы и органическое вещество в Онежском озере и его заливах // *Материалы V Всерос. симп. с междунар. участием 10–14 сентября 2012 г.* Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2012. С. 75–78.
- Сабылина А. В., Лозовик П. А., Зобков М. Б. Химический состав воды Онежского озера и его притоков // *Водные ресурсы*. 2010. Т. 37, № 6. С. 717–729.
- Саут Р., Уиттик А. Основы альгологии М.: Мир, 1990. С. 272–279.
- Сиренко Л. А., Гавриленко М. Я. Цветение воды и евтрофирование. Киев.: Наукова думка, 1978. С. 131–132.
- Теканова Е. В. Вклад первичной продукции в содержание органического углерода в Онежском озере // *Биология внутренних вод*. 2012. № 4. С. 38–43.
- Тимакова Т. М. Бактериальные процессы продукции и деструкции органического вещества. Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 174–191.
- Тимакова Т. М., Лежнева Е. К. Вклад хемолитотрофной нитрификации в новообразование органического вещества в Онежском озере. Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах // *Материалы V Всерос. симп. с междунар. участием. 10–14 сентября 2012.* Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 82–86.
- Чекрыжева Т. А. Фитопланктон как компонент биоресурсной базы Онежского озера. Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 24–36.
- Ackman R. G., Zinke B. A., Hingley J. Some details of the fatty acids and alcohols in the lipids of North Atlantic copepods // *J. Fish. Res. Board Canada*. 1974. Vol. 31. P. 1818–1821.



*Gerin C., Gouts J. M.* Iatroscan-measured particulate and dissolved lipids in the Almeria – Oran frontal system (Almofront – 1, May 1991) // *J. Mar. Syst.* 1994. Vol. 5. P. 343–360.

*Hedges J. J.* Global biogeochemical cycles: progress and problems // *Mar. Chem.* 1992. Vol. 39. P. 67–93.

*Johnson K. M., Sieburth J., McN.* Dissolved carbohydrates in seawater // *Mar. Chem.* 1977. Vol. 5. P. 1–13

*Josefsson B., Uppsström Z., Östling Y.* Automatic spectrophotometric procedures for the total amount of dissolved carbohydrates in sea water // *Deep-Sea Res.* 1972. Vol. 19. P. 385–395.

*McKnight G. I.* A colorimetric method for the determination of submicrogram quantities of protein // *Analyt. Biochem.* 1977. Vol. 78. P. 86–92.

*Mykkestad S. M.* Dissolved organic carbon from phytoplankton. In: *Wangersky P.* (Ed.). *The Handbook of Environmental Chemistry (D.) Marine Chemistry.* Springer Verlag. Berlin, 2000. P. 111–148.

*Viron C., Saunois A., Andre P., Perly B., Lafosse M.* Isolation and identification of unsaturated fatty acid methyl esters from marine micro-algal // *Analytical Chemicals Acta.* 2000. Vol. 409. P. 257–266.

*Wangersky P. J.* Dissolved carbohydrate in Long Island Sound // *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.* 1959. Vol. 17. P. 267–274.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Ефремова Татьяна Алексеевна**

аспирант, главный химик  
Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185030.  
e-mail: tanyusha\_ptz@mail.ru  
тел.: (8142) 576541, 89214500526

### **Сабылина Альбина Васильевна**

старший научный сотрудник, к. х. н.  
Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185030  
тел.: (8142) 576541

### **Лозовик Петр Александрович**

зав. лаб. гидрохимии и гидрогеологии, д. х. н.  
Институт водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185030  
e-mail: lozovik@nwpi.krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 576541

### **Efremova, Tatiana**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Center,  
Russian Academy of Sciences  
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
e-mail: tanyusha\_ptz@mail.ru  
tel.: (8142) 576541, 89214500526

### **Sabylina, Albina**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Center,  
Russian Academy of Sciences  
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
tel.: (8142) 576541

### **Lozovik, Pyotr**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Center,  
Russian Academy of Sciences  
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
e-mail: lozovik@nwpi.krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 576541