

УДК 556.114.7 (282.247.211)

СОДЕРЖАНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СООТНОШЕНИЕ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Т. А. Ефремова, М. В. Зобкова

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия*

Представлены результаты сезонных исследований основных компонентов органического вещества (фульвовых и гуминовых кислот, углеводов, липидов, белков, мочевины), выполненных в 2016–2017 гг. Исследование проводилось в олиготрофной олигогумусной центральной части Онежского озера, в мезотрофной мезогумусной Петрозаводской губе, а также в устье эвтрофной мезополигумусной реки Шуи. Рассмотрено содержание, сезонное распределение и соотношение основных компонентов органического вещества в зависимости от разного уровня трофии и гумусности. Установлено, что органическое вещество в Онежском озере в основном представлено гумусовыми веществами, содержание которых составляло 7,2–33,4 мг/л и увеличивалось с ростом гумусности. Наименьшее их количество отмечено в Центральном плесе Онежского озера (в среднем 68 %), а наибольшее – в устье р. Шуи (в среднем 81 %). Вторым по количеству компонентом органического вещества являлись углеводы, на них приходилось в среднем 10 %, а концентрация составляла 0,8–3,0 мг/л. Значительно меньше содержалось липидов (0,04–0,28 мг/л), белков (0,02–0,13 мг/л) и мочевины (0,02–0,09 мг/л), а их количество от общего содержания органического вещества составляло ~ 1; 0,4 и 0,3 % соответственно. В составе автохтонного органического вещества основным идентифицированным компонентом являлись свободные углеводы (30 %), значительно меньше выявлено липидов (11 %), белков (3 %) и мочевины (2 %). Гумусовые вещества – основной компонент аллохтонного органического вещества, а в их составе преобладают фульвовые кислоты. Соотношение фульвовых и гуминовых кислот в среднем составляло 6:1, что соответствовало данным из других водных объектов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: органическое вещество природных вод; фульвовые и гуминовые кислоты; углеводы; липиды; белки; мочевина; Онежское озеро.

T. A. Efremova, M. V. Zobkova. CONCENTRATION, DISTRIBUTION AND RATIO OF THE MAIN ORGANIC MATTER COMPONENTS IN LAKE ONEGO WATER

Seasonal studies of the main organic matter components (fulvic and humic acids, carbohydrates, lipids, proteins, urea) were carried out in 2016–2017. The research was conducted in the oligotrophic and oligohumic central part of Lake Onego, mesotrophic and mesohumic Petrozavodsk Bay, and mouth of the eutrophic and mesopolyhumic River Shuya. The concentration, seasonal distribution and ratio of the main organic matter components were considered depending on the different trophic and humus levels. It was found that the main component of organic matter in Lake Onego was humic substances,

whose concentrations ranged from 7.2 to 33.4 mg/l and increased with a rise in the humus status. Their content was minimal in the central part of Lake Onego (68 % on average), and maximal in the Shuya River mouth (81 % on average). The second largest component of organic matter was carbohydrates, which contributed on average 10 %, and their concentration was 0.8–3.0 mg/l. The concentrations of lipids (0.04–0.28 mg/l), proteins (0.02–0.13 mg/l) and urea (0.02–0.09 mg/l) were significantly lower, and their contributions to total organic matter were ~1 %, ~0.4 % and ~0.3 %, respectively. It was found that the major constituent of autochthonous organic matter was free carbohydrates (30 %); the proportion of lipids was much lower (11 %), as well as those of proteins (3 %) and urea (2 %). Humic substances were the main component of allochthonous organic matter and fulvic acids prevailed in their composition. The fulvic/humic acids ratio averaged 6:1, and was in congruence with data from other water bodies.

Key words: organic matter in natural waters; fulvic and humic acids; carbohydrates; lipids; proteins; urea; Lake Onego.

Введение

Органическое вещество (ОВ) природных вод является сложной многокомпонентной системой, состоящей из огромного числа индивидуальных соединений (гумусовые вещества, углеводы, липиды, белки, аминокислоты, нуклеиновые кислоты и продукты их распада, мочевины, летучие органические соединения, фенолы и др. компоненты). Эти соединения отличаются друг от друга строением, свойствами, происхождением, размером молекул и количественным содержанием в природных водах. ОВ в поверхностных водах – это интегральный показатель, величина которого в основном зависит от трофности и гумусности вод, от соотношения скоростей продукционно-деструкционных процессов и от величины стока. Количественное содержание основных компонентов ОВ (гумусовых веществ, белков, углеводов и липидов) и их соотношение позволяют судить о происхождении, путях трансформации и пищевой ценности ОВ для высших трофических уровней данной экосистемы.

В зависимости от источника происхождения ОВ природных вод делят на автохтонное и аллохтонное. В естественных незагрязненных водоемах автохтонное ОВ представлено биохимически легкоокисляемыми соединениями, такими как свободные углеводы, липиды, белки, мочевины и другие вещества, а аллохтонное – гумусовыми веществами. Последние вносят существенный вклад в общее содержание ОВ поверхностных вод, в некоторых водных объектах их количество может достигать 90 % [McKnight, Aiken, 1998], в то же время в мировом океане их содержание варьирует только от 0,7 до 2,4 % [Rocker et al., 2012].

К настоящему времени накоплены обширные сведения о содержании, распределении и трансформации отдельных составляющих ОВ

в природных водах. И если гумусовые вещества, как компонент аллохтонного ОВ, изучаются в поверхностных водах суши регулярно [Левшина, 2006; Cory et al., 2007; Linnik et al., 2013], то изучение компонентов автохтонного ОВ выполнено по большей части только на примере морских вод [Агатова и др., 2011; Немировская, Артемьев, 2013; Kim et al., 2018].

Исследование основных компонентов ОВ в водных экосистемах представляет интерес во многих отношениях. Их распределение отражает в целом функционирование водных экосистем, так как образование этих компонентов в водоемах связано с жизнедеятельностью живых организмов и со средой обитания [Bade et al., 2007]. Состав ОВ лабилен и может изменяться в зависимости от интенсивности первичного продуцирования, преобразования ОВ вторичными продуцентами, поступления с водосборной территории и антропогенного влияния. Влияние физических и биологических процессов на экосистему легче проследить и оценить по индивидуальным химическим компонентам. Например, основным продуктом первичного продуцирования являются углеводы, которые далее преобразуются в другие соединения в результате клеточного метаболизма. В морях отмечена высокая корреляция между количеством взвешенных углеводов и биомассой фитопланктона [Liebezeit, 1987; Агатова и др., 2001], а также между интенсивностью первичного продуцирования и количеством растворенных углеводов [Sellner, 1981; Агатова и др., 2001]. Концентрация взвешенного белка дает представление о количестве гетеротрофных микроорганизмов, которые являются основными трансформаторами как автохтонного, так и аллохтонного ОВ [Cho, Azam, 1990]. Такие соединения, как гумусовые вещества, углеводы, белки, липиды, мочевины, являются основными классами естественного ОВ в незагрязненных

водоемах, и изменение их содержания отражает экологическую обстановку в водном объекте. Так, повышенные концентрации липидов и мочевины в поверхностных водах указывают на загрязнение водного объекта сельскохозяйственными, хозяйственно-бытовыми сточными водами, а также стоками предприятий пищевой и кожевенной промышленности. Кроме того, высокие концентрации растворенных и взвешенных липидов находятся в тесной связи с наличием скоплений рыбы и зоопланктона [Агатов, 2017]. Высокое содержание углеводов обусловлено загрязнением водоема сточными водами пищевой и целлюлозно-бумажной промышленности, а также «цветением» воды [Шаова, 1971; Ефремова и др., 2013].

Поскольку ОВ вносит неотъемлемый вклад в функционирование водных экосистем и может отражать экологическую обстановку в водоеме, то для четкого понимания источников поступления и протекания внутриводоемных процессов необходимо знать не только общее содержание ОВ и концентрацию отдельных соединений, но и состав, а также соотношение всех его основных компонентов. Поэтому целью данного исследования является определение содержания и распределения основных компонентов ОВ, установление их соотношения в зависимости от уровня трофии и гумусности, а также выявление их сезонной изменчивости в центральной части Онежского озера, в Петрозаводской губе и р. Шуе.

Материалы и методы

Онежское озеро расположено на северо-западе Российской Федерации и является вторым по величине пресноводным озером в Европе. Оно расположено между 59°54' и 61°47' с. ш., площадь зеркала составляет 9720 км², водосбора – 53 100 км², средняя глубина озера – 30 м, объем воды – 291 км³. Озеро относится к большим стратифицированным водоемам, его удельный водосбор составляет 5,5, а условный водообмен – 16 год⁻¹. Онежское озеро имеет ледниково-тектоническое происхождение и находится в зоне сопряжения кристаллического Балтийского щита и Русской платформы, что определяет изрезанную береговую линию с множеством заливов и скалистых берегов в северной части озера и относительно равнинное побережье на юге.

Петрозаводская губа составляет 0,8 % площади Онежского озера, ее котловина широко открыта и имеет постепенный уклон в сторону глубоководной части озера, что обуславливает ее высокую проточность [Онежское...,

1999]. Общий объем притока в залив составляет 3,35 км³ в год, 93 % его приходится на реку Шуя, впадающую в вершинную часть губы. С ее водами происходит поступление в озеро большого количества ОВ гумусового происхождения, так как водосбор реки характеризуется высокой залесенностью, заболоченностью и озерностью.

Кроме того, на территории губы расположен крупный промышленный центр – г. Петрозаводск, источник поступления антропогенного ОВ. Поэтому вода в губе имеет мезотрофный мезогумусный статус, а ее качество формируется за счет смешения озерных, речных и сточных вод [Сабылина и др., 2010].

На Онежском озере исследование ОВ и его компонентов осуществлялось осенью (сентябрь) 2016 г., а также в зимний (март), весенний (июнь) и летний (август) периоды 2017 г. Пробы воды отбирали в центральной части озера (С3) и в центре Петрозаводской губы (Р2) в поверхностном и придонном горизонтах (0,5; 27,5 м для станции Р-2 и 0,5; 46,0 м для станции С-3), а также в устье главного притока губы – р. Шуи (рис. 1).

Природную воду для изучения ОВ отбирали батометром Рутнера, который предварительно несколько раз ополаскивали исследуемой водой. Для определения липидов использовали стеклянную посуду, а для других химических показателей – полиэтиленовую. Так как в воде постоянно протекают биохимические процессы, ведущие к окислению компонентов ОВ, липиды фиксировали на месте отбора проб 20 мл смеси Фолча (хлороформ : этанол : метанол в соотношении 2:1:1), которые являются первой порцией из трех, при экстракции липидов из воды. Полученные экстракты анализировали или хранили в холодильнике при $t = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до 1 месяца. Остальные компоненты определяли непосредственно после отбора проб в исходной воде.

Для количественной оценки лабильных (свободных углеводов, липидов, белков и мочевины) и устойчивых (гумусовых веществ: фульвовых и гуминовых кислот и в их составе связанных углеводов) компонентов ОВ разделяли на автохтонную и аллохтонную составляющие адсорбцией на диэтиламиноэтилцеллюлозе (ДЭАЭ-целлюлоза) согласно методике [Лозовик, Мусатова, 2013]. После проведения адсорбции на ДЭАЭ-целлюлозе выделение связанных с адсорбентом гумусовых веществ и их последующее разделение на фульвовые и гуминовые кислоты осуществляли по стандартной методике [АРНА..., 1999]. Расчет концентрации гумусовых веществ в воде осуществлял

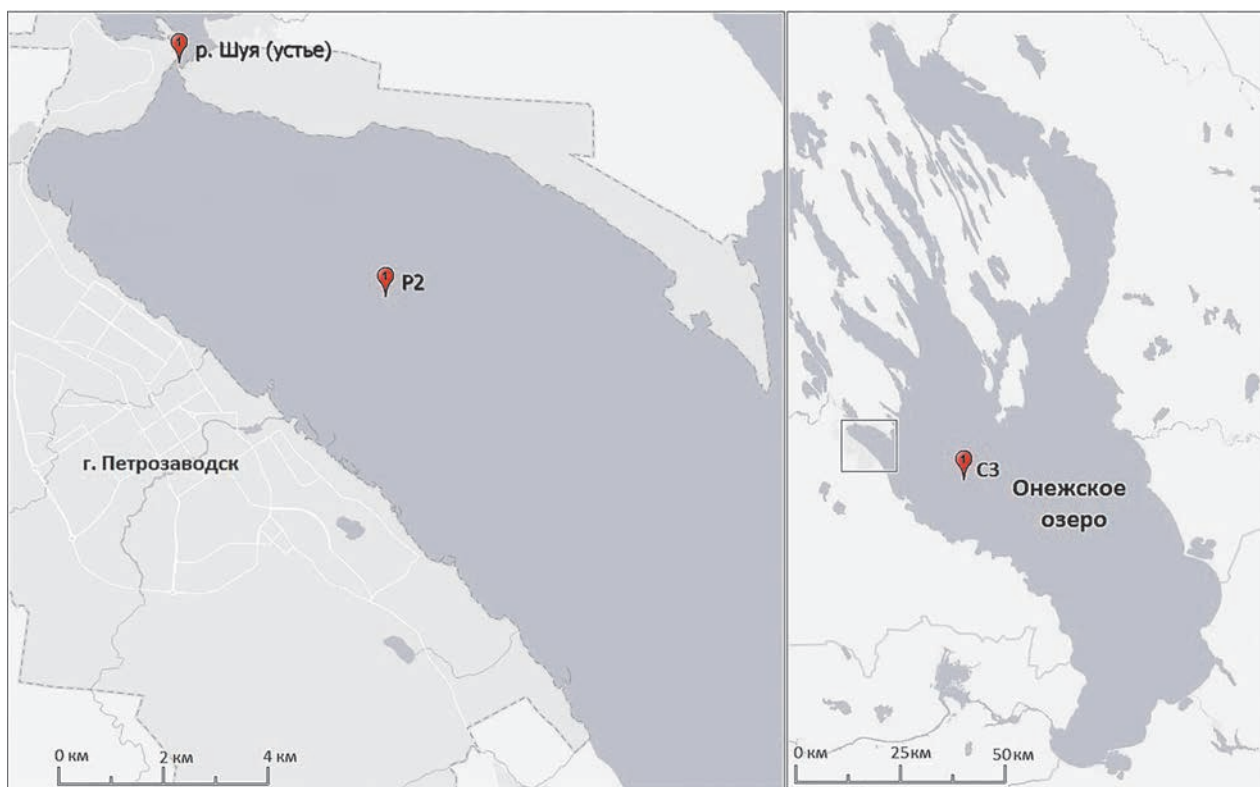


Рис. 1. Карта-схема отбора проб воды в Онежском озере
 Fig. 1. Water sample locations in Petrozavodsk Bay and Lake Onego

ся по содержанию $C_{орг}$, который определяли по методике [Зобков, Зобкова, 2015]. Содержание общего ОВ принималось равным $2C_{орг}$.

Определение концентрации липидов и углеводов проводилось по усовершенствованным методикам применительно к поверхностным водам гумидной зоны с L-триптофановым и фосфованилиновым реактивом соответственно [Лозовик, Ефременко, 2017], белков – с красителем Кумасси R-250 [Руководство..., 2004].

Углеводы в природных водах находятся в двух формах: растворенные и взвешенные. С помощью методики разделения ОВ на аллохтонную и автохтонную составляющие с использованием ДЭАЭ-целлюлозы из растворенных углеводов нами были выделены еще две фракции: свободные и связанные с гумусовыми веществами углеводы.

Количественное определение форм углеводов в поверхностных водах осуществляли по следующей схеме:

1) общее содержание углеводов ($Y_{общ}$) в исходной воде (растворенные, связанные с гумусовыми веществами и во взвеси);

2) растворенные углеводы ($Y_{раств}$) в воде после удаления взвешенных веществ центрифугированием;

3) содержание взвешенных углеводов ($Y_{взв}$) определяли по разности $Y_{общ}$ и $Y_{раств}$, а также путем анализа взвеси, выделенной на стекловолокнистых фильтрах (фильтрование проб воды через стекловолокнистые фильтры «Ватман» GF/F, 0,7 мкм);

4) свободные углеводы ($Y_{своб}$) в воде после удаления гумусовых веществ адсорбцией на ДЭАЭ-целлюлозе;

5) содержание связанных углеводов ($Y_{связ}$) рассчитывали по разности концентрации растворенных и свободных углеводов:

$$Y_{связ} = Y_{раств} - Y_{своб}$$

Для количественного определения мочевины использовалась ее способность гидролизоваться в кислой среде до NH_3 и CO_2 , что положено в основу методики [Рыжаков, Кукконен, 2014].

Результаты и обсуждение

ОВ в Онежском озере распределено неравномерно, его содержание в прибрежной зоне и губах выше, чем в центре, что вызвано рядом различных факторов. Так, вода центральной части озера характеризуется высоким качеством (ЦВ < 40 град., $P_{общ}$ < 12 мкг/л, pH 6,5–8,0, O_2 – 80–105 %, Fe – до 0,2 мг/л)

[Озера..., 2013] и имеет олиготрофный олигогумусный характер, поэтому концентрация ОВ изменялась слабо в течение всего периода наблюдений – 6,2–7,2 (в среднем 6,7) мгС/л. Это связано с тем, что Центральный плес, обладая значительным объемом водных масс, достаточно удален от губ и прибрежных территорий, испытывающих влияние природного и антропогенного ОВ, поступающего с водосборной территории.

В Петрозаводской губе в зависимости от различных условий ОВ может быть представлено как озерными водами, так и речными, поэтому его концентрация изменялась от 7,1 до 15,2 (в среднем 10,9) мгС/л. Воды р. Шуи содержат значительное количество аллохтонного ОВ гумусовой природы и классифицируются как эвтрофные мезополигумусные. Концентрация ОВ в реке оставалась на высоком уровне и незначительно изменялась в течение всего периода наблюдений, составляя 16,2–18,6 (в среднем 17,4) мгС/л. Эти данные хорошо согласуются с многолетними наблюдениями [Крупнейшие..., 2015], что указывает на стабильность экосистемы озера.

Анализ данных показал, что содержание растворенного автохтонного ОВ в Онежском озере в течение всего периода наблюдений изменялось слабо и варьировало в пределах 3,8–5,5 (в среднем $4,3 \pm 0,5$ мг/л), что согласуется с данными, ранее полученными для этого озера [Зобкова и др., 2017]. Концентрация аллохтонного ОВ, напротив, была неоднородной, в Онежском озере наблюдалось ярко выраженное уменьшение содержания аллохтонного ОВ от Петрозаводской губы (в среднем $15,2 \pm 3,6$ мг/л), подверженной влиянию высокогумусных вод р. Шуи (30,5 мг/л), к центральной части озера (в среднем $9,1 \pm 0,9$ мг/л). Это подтверждает тот факт, что основное отличие водоемов связано с различным содержанием в них аллохтонного ОВ, в то время как содержание автохтонного сравнительно низко и изменяется в узких пределах [Зобкова и др., 2015; Лозовик и др., 2017].

Гумусовые вещества

Основным компонентом аллохтонного ОВ в исследованных водных объектах являются гумусовые вещества, на долю которых обычно приходится 91–100 % (в среднем 94 %) ОВ [Зобкова и др., 2017]. Гумусовые вещества представляют собой темноокрашенные высокомолекулярные соединения и имеют сложное нерегулярное строение. Они образуются под воздействием многостадийных биологических

и химических процессов при трансформации органических остатков растений и животных. Гумусовые вещества вносят существенный вклад в общее содержание ОВ поверхностных вод суши, а их концентрация может изменяться в широких пределах. Исследования показали, что это связано с влиянием различных факторов, таких как площадь и уклон водосборной территории [Aitkenhead-Peterson et al., 2003], наличие болот и торфяников [Xenopoulos et al., 2003], климатические факторы [Curtis, 1998], а также период водообмена водоема и его удельный водосбор [Лозовик и др., 2007].

Исследование ОВ в 2016–2017 гг. позволило установить, что содержание гумусовых веществ в Онежском озере составляло 8,0–23,0 мг/л (табл. 1). При этом значения, полученные для Центрального плеса озера, являлись минимальными и хорошо согласовались с ранее установленными [Лапин, Красюков, 1991], что свидетельствует о стабильности экосистемы озера. В то же время содержание гумусовых веществ, поступающих с р. Шуей, было максимальным (табл. 1) и несколько превышало значения, установленные в середине восьмидесятых годов (19,8–22,8 мг/л) [Лапин, Красюков, 1991]. Это можно объяснить тем, что в указанный период поступление ОВ с водосборной территории было в целом ниже, чем в настоящее время. Об этом свидетельствуют полученные значения таких косвенных показателей ОВ, как цветность, перманганатная окисляемость (ПО) и химическое потребление кислорода (ХПК), которые в среднем составляли 150 град., 16,9 и 30,4 мгО/л соответственно [Лозовик, Фрейдлинг, 1991], в то время как 2016–2017 гг. цветность достигала 150–163 град., ПО – 21,6–22,6 мгО/л и ХПК – 44,9–49,0 мгО/л.

Как было отмечено ранее, концентрация гумусовых веществ в р. Шуде существенно выше, чем в центральной части озера. Иная ситуация наблюдалась в Петрозаводской губе, которая испытывает влияние и озерных, и речных вод, что сказывается на концентрациях гумусовых веществ в ней. С одной стороны, губа имеет хороший обмен водных масс с открытой частью озера (период водообмена – 0,35), а с другой, р. Шуя вносит существенный вклад в поступление в Петрозаводскую губу ОВ гумусовой природы. В зависимости от влияния вышеперечисленных факторов, а также водности года, гидрологических и климатических особенностей по содержанию гумусовых веществ вода в Петрозаводской губе в различные сезоны может быть близка или к озерным, или к речным водам (рис. 2).

Распределение гумусовых веществ в толще воды на различных станциях Онежского озера

Таблица 1. Сезонное содержание ОВ и его компонентов (гуминовые и фульвовые кислоты, углеводы, липиды и белки) в поверхностном (числитель) и придонном (знаменатель) горизонтах Онежского озера и р. Шуя
 Table 1. Seasonal concentration of organic matter and its components (humic and fulvic acids, carbohydrates, lipids, and proteins) in the surface (numerator) and bottom (denominator) horizons of Lake Onego and the Shuya River

Объект исследования (станция) Object (Station)	Сезон Season	С _{орг} Organic carbon	ОВ Organic matter	Гумусовые вещества Humic substances	Фульвовые кислоты Fulvic acids	Гуминовые кислоты Humic acids	Углеводы Carbo-hydrates	Липиды Lipids	Белки Proteins
		мг/л mg/l							
Центральный плес Онежского озера (С3) Central part of Lake Onego (С3)	Осень 2016 Autumn 2016	$\frac{6,2}{6,2}$	$\frac{12,4}{12,4}$	$\frac{7,2}{8,4}$	–	–	$\frac{2,5}{-}$	$\frac{0,10}{-}$	$\frac{0,13}{-}$
	Зима 2017 Winter 2017	$\frac{7,2}{6,8}$	$\frac{14,4}{13,7}$	$\frac{12,0}{11,4}$	$\frac{10,4}{10,0}$	$\frac{1,6}{1,4}$	$\frac{1,6}{0,8}$	$\frac{0,04}{0,13}$	$\frac{0,04}{0,06}$
	Весна 2017 Spring 2017	$\frac{6,9}{6,9}$	$\frac{13,7}{13,7}$	$\frac{8,0}{8,0}$	$\frac{6,6}{6,6}$	$\frac{1,4}{1,4}$	$\frac{1,2}{0,9}$	$\frac{0,10}{0,28}$	$\frac{0,02}{0,03}$
	Лето 2017 Summer 2017	$\frac{7,0}{6,3}$	$\frac{14,0}{12,6}$	$\frac{9,3}{8,9}$	–	–	–	–	–
Петрозаводская губа (P2) Petrozavodsk Bay (P2)	Осень 2016 Autumn 2016	$\frac{10,9}{15,2}$	$\frac{21,8}{30,4}$	$\frac{16,8}{23,0}$	$\frac{14,8}{-}$	$\frac{2,0}{-}$	$\frac{2,6}{-}$	$\frac{0,10}{-}$	$\frac{0,13}{-}$
	Зима 2017 Winter 2017	$\frac{11,4}{9,7}$	$\frac{22,7}{19,3}$	$\frac{18,3}{15,2}$	$\frac{16,0}{13,4}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,8}{2,7}$	$\frac{0,08}{0,09}$	$\frac{0,06}{0,04}$
	Весна 2017 Spring 2017	$\frac{12,7}{12,3}$	$\frac{25,5}{24,5}$	$\frac{17,2}{16,8}$	$\frac{13,4}{14,4}$	$\frac{3,6}{2,4}$	$\frac{2,8}{1,4}$	$\frac{0,22}{0,13}$	$\frac{0,05}{0,03}$
	Лето 2017 Summer 2017	$\frac{8,2}{7,1}$	$\frac{16,4}{14,2}$	$\frac{11,6}{10,0}$	–	–	–	–	–
Р. Шуя R. Shuya	Зима 2017 Winter 2017	18,6	37,3	33,4	30,6	2,8	3,0	0,25	0,21
	Весна 2017 Spring 2017	16,8	32,4	24,4	20,6	3,8	2,0	0,22	0,06

Примечание. Прочерк – определение не проводилось.

Note. Dash – not defined.

было неоднородно. В центральной части водоема концентрация гумусовых веществ практически не изменялась по глубине во все сезоны года. В то же время в Петрозаводской губе наблюдалось сезонное изменение содержания гумусовых веществ на различных горизонтах (см. рис. 2). Осенью и зимой их концентрация в поверхностном и придонном слоях воды значительно отличалась, что связано с интенсивным поступлением в губу более темных шуйских вод (осенью – в поверхностный слой, а зимой – в придонный). Весенний период характеризовался однородным распределением гумусовых веществ за счет активного переме-

шивания водных масс. Летом их концентрации в поверхностном и придонном слоях, а также в водах центральной части озера были близки, что вызвано сокращением стока реки и активным поступлением озерных вод в губу.

В составе гумусовых веществ изучены фульвовые и гуминовые кислоты (см. табл. 1). Содержание фульвовых кислот изменялось от 6,6 до 16,0 мг/л, было значительно выше, чем гуминовых (1,4–3,6 мг/л), и соответствовало значениям, установленным в ранее проводимых исследованиях [Лапин, Красюков, 1991]. Превалирование фульвовых кислот отражалось и на их соотношении с гуминовыми кислотами,

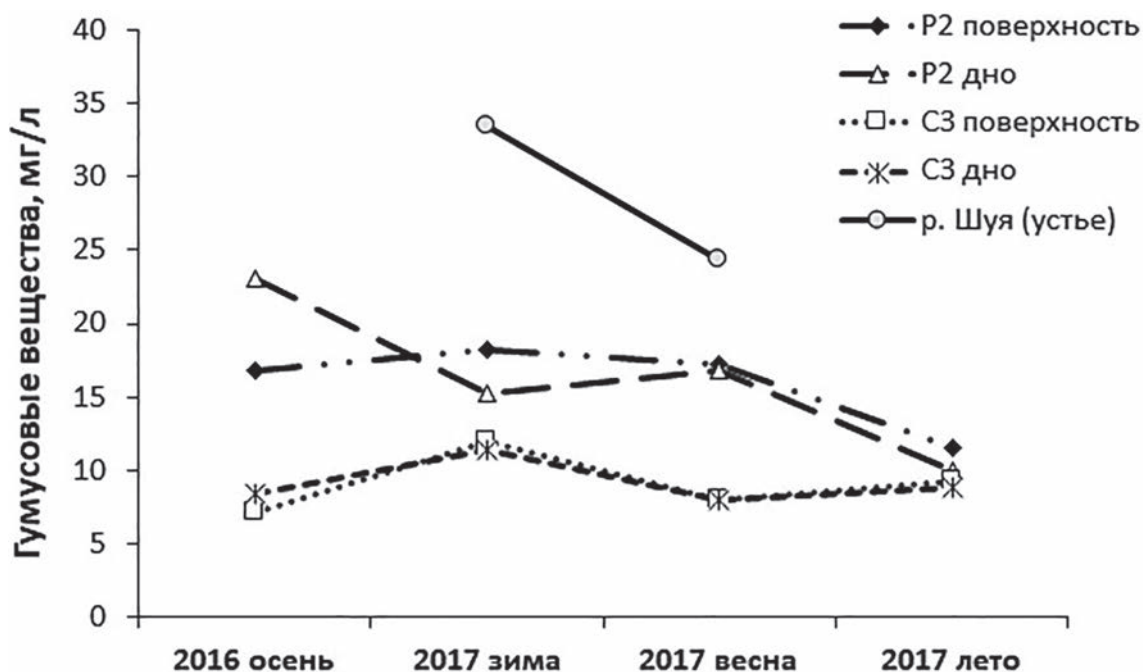


Рис. 2. Сезонное распределение гумусовых веществ в Онежском озере и р. Шуе
 Fig. 2. Seasonal distribution of humic substances in Lake Onego and the Shuya River

которое составляло в среднем 6:1 в исследованных районах Онежского озера. Связано это с тем, что гуминовые кислоты интенсивно закрепляются в почвах в виде комплексов с ионами металлов и для них характерна меньшая растворимость в воде, а значит, поступление с водосборной территории ограничено.

Углеводы

Углеводы являются важным компонентом химического состава природных вод и играют существенную роль в формировании и поддержании жизни биоты в водных экосистемах. Это основной компонент растворенного ОВ, и их концентрации подвержены довольно значительным сезонным колебаниям, составляя от 10 до 70 % растворенного ОВ в морских водах [Benner, 2002; Агатова и др., 2012].

В результате исследований установлено, что среднее содержание углеводов в центральной части озера за весь период наблюдений составило 1,4 мг/л, а в Петрозаводской губе и в р. Шуе было почти в 2 раза выше – 2,5 мг/л (см. табл. 1). Центральный плес Онежского озера имеет олиготрофный статус, а Петрозаводская губа и р. Шуя – мезо- и эвтрофный соответственно, что говорит о разном содержании в них ОВ.

Полученные данные по сезонному распределению углеводов в центральной части Онежского озера показали, что их концентрация

уменьшается от осеннего периода к весеннему (табл. 1). В Петрозаводской губе и в р. Шуе содержание углеводов мало изменялось по сезонам года. По-видимому, это вызвано тем, что часть углеводов находится в связанном состоянии с гумусовыми веществами, которые преобладают в водах этих станций по сравнению с Центральным плесом.

Распределение углеводов по горизонтам характеризуется уменьшением их концентраций от поверхности ко дну (см. табл. 1). Как известно, основным источником ОВ в водной экосистеме в период открытой воды является первичное продуцирование, при котором благодаря фотосинтетическим процессам в фотическом слое из CO_2 синтезируются углеводы, что и объясняет более высокие их концентрации в поверхностном горизонте.

В составе растворенных углеводов определялись их фракции: свободная и связанная с гумусовыми веществами. Наличие связанных углеводов объясняется тем, что гумусовые вещества – это продукты конденсации лигнина, углеводов, белков и других веществ [Орлов, 1990]. Следовательно, $U_{\text{раст}}$ являются компонентами как аллохтонного ОВ (к ним относятся $U_{\text{связ}}$), так и автохтонного – $U_{\text{своб}}$ в поверхностных водах.

В Онежском озере преобладают $U_{\text{раст}}$, в среднем за год на их долю приходится около 90 %, а на долю $U_{\text{взв}}$ – 10 % от общего количества углеводов (табл. 2; рис. 3, а). Максимальное значение $U_{\text{взв}}$ (33 %) и минимальное $U_{\text{раст}}$ (67 %) было отме-

Таблица 2. Содержание различных форм углеводов по сезонам года в поверхностном (числитель) и придонном (знаменатель) горизонтах в Онежском озере и р. Шуе

Table 2. The content of various forms of carbohydrates in the surface (numerator) and bottom (denominator) horizons in Lake Onego and r. Shuya by the seasons of the year

Объект Object	Сезон Season	Углеводы, мг/л Carbohydrates, mg/l			
		Растворенные Dissolved	Взвешенные Suspended	Свободные Free	Связанные Related
Центральный плес Central part of Lake Onego	Осень 2016 Autumn 2016	2,5	<0,1	1,9	0,6
	Зима 2017 Winter 2017	$\frac{1,5}{0,6}$	$\frac{0,1}{0,2}$	$\frac{0,2}{0,5}$	$\frac{1,3}{0,1}$
	Весна 2017 Spring 2017	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{0,4}{< 0,1}$	$\frac{0,4}{0,6}$	$\frac{0,4}{0,3}$
Петрозаводская губа Petrozavodsk Bay	Осень 2016 Autumn 2016	2,5	0,1	2,1	0,4
	Зима 2017 Winter 2017	$\frac{2,8}{2,5}$	$\frac{< 0,1}{0,2}$	$\frac{1,9}{0,6}$	$\frac{0,9}{1,9}$
	Весна 2017 Spring 2017	$\frac{2,6}{1,2}$	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{1,2}{1,1}$	$\frac{1,4}{0,1}$
Р. Шуя R. Shuya	Зима 2017 Winter 2017	2,8	0,2	1,1	1,7
	Весна 2017 Spring 2017	1,8	0,2	0,5	1,3

Примечание. Осенью 2016 г. содержание углеводов было определено только в поверхностном горизонте.

Note. Content of carbohydrates was determined only in surface horizon in autumn 2016.

чено в центральной части озера весной в период активной вегетации диатомового планктона.

Как видно из рис. 3, б, $Y_{\text{своб}}$ являются преобладающей формой в составе $Y_{\text{раст}}$ в воде Центрального плеса и Петрозаводской губы. В воде высокогумусной р. Шуи, напротив, преобладают $Y_{\text{связ}}$.

Липиды

Липиды, присутствующие в природных водах, в основном образуются в процессе метаболизма растительных и животных организмов, а также в результате их посмертного разложения. В природных водах они находятся преимущественно в составе автохтонного ОВ [Зобкова и др., 2015]. Повышенные концентрации липидов ухудшают кислородный режим водоемов, органолептические свойства воды и стимулируют развитие микрофлоры. Снижение содержания липидов в природных водах связано с процессами их ферментативного гидролиза и биохимического окисления.

Нами обнаружено, что содержание липидов в исследуемых объектах изменялось в пределах от 0,04 до 0,28 мг/л (в среднем 0,16 мг/л). В придонном горизонте их количество больше, чем в поверхностном, за исключением Петрозаводской губы в весенний период (см. табл. 1).

Сезонное распределение липидов имеет свои особенности, которые связаны с продуцированием ОВ в водных объектах. В зимний и осенний периоды, когда практически отсутствует продуцирование ОВ, наблюдается наименьшее их количество (0,04–0,10 мг/л) в Центральном плесе Онежского озера и Петрозаводской губе (см. табл. 1). Весной происходит резкое увеличение концентрации липидов в 2 раза. Такая особенность связана с тем, что фитопланктон, в котором содержание общих липидов может достигать 44 % в расчете на сухую массу, в это время года в основном представлен диатомовыми водорослями (98 % от общей численности) [Раймонд, 1988].

Белки

Белки наряду с углеводами и липидами являются главными составляющими автохтонного ОВ. Источник их поступления в водоемы – прижизненные выделения водных организмов, а также хозяйственно-бытовые сточные воды.

Проведенные исследования, показали, что содержание белков в Онежском озере изменялось в пределах от 0,02 до 0,13 мг/л (в среднем 0,06 мг/л), в р. Шуе – 0,06–0,21 мг/л (в среднем 0,14 мг/л) (см. табл. 1).

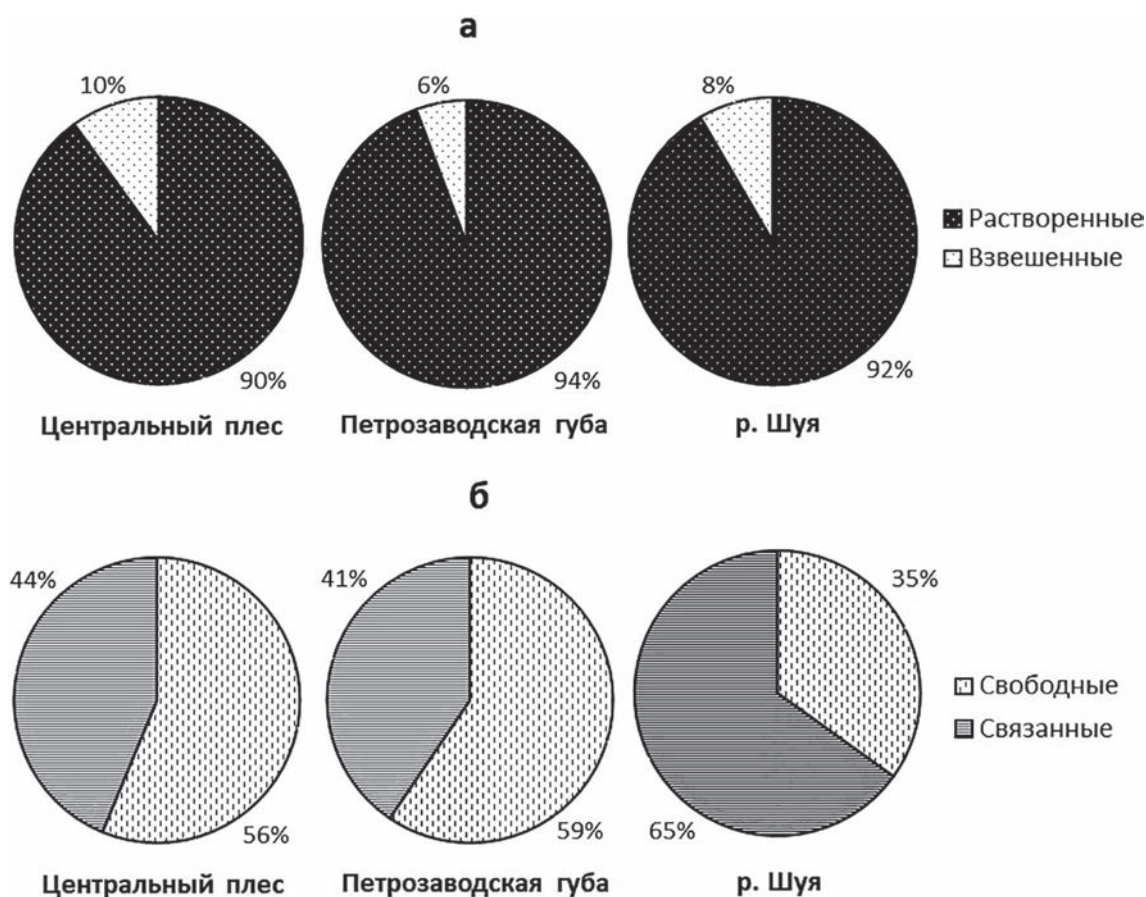


Рис. 3. Соотношение растворенных и взвешенных углеводов в составе общих углеводов (а) и свободных и связанных углеводов в составе растворенных углеводов (б) (средние значения по сезонам и горизонтам)

Fig. 3. Ratio of dissolved and suspended carbohydrates in composition of total carbohydrates (а) and free and related carbohydrates in composition of dissolved carbohydrates (б) (season and horizon mean values)

Анализ сезонной динамики содержания белков показал, что наибольшее их количество отмечается в воде Центрального плеса и Петрозаводской губы осенью, а в р. Шуе – зимой: 0,13 и 0,21 мг/л соответственно, что в 3,5 раза выше, чем весной. Сезонное распределение белков наиболее подробно исследовалось в Онежском озере в 2011 и 2014 гг. [Сабылина и др., 2017]. В более теплый и продуктивный 2011 г. средняя концентрация белков в открытый период года в Онежском озере равнялась 0,21 мг/л, а в холодный и дождливый 2014 г. она была в два раза меньше, что согласуется с полученными данными в 2016–2017 гг.

Мочевина

Мочевина присутствует в природных водах и является важным продуктом жизнедеятельности водных организмов. Повышение ее концентрации может указывать на загрязнение водного объекта сельскохозяйственными и хо-

зяйственно-бытовыми сточными водами. Оно обычно сопровождается активизацией процессов утилизации мочевины водными организмами и потреблением кислорода, приводящего к ухудшению кислородного режима.

В 2017 г. было определено содержание мочевины зимой в воде р. Шуи (0,03 мг/л) и весной в центральной части Онежского озера (0,02 мг/л в поверхностном и 0,09 мг/л в придонных горизонтах). Наименьшие ее концентрации в Онежском озере обычно отмечаются в зимний период, а наибольшие – в летне-осенний [Рыжаков, Кукконен, 2014]. По незначительному содержанию мочевины на исследованных участках Онежского озера можно сделать вывод об отсутствии серьезно-антропогенного воздействия.

Соотношение компонентов в составе ОВ

Анализ количественного содержания основных компонентов ОВ (гумусовых веществ,

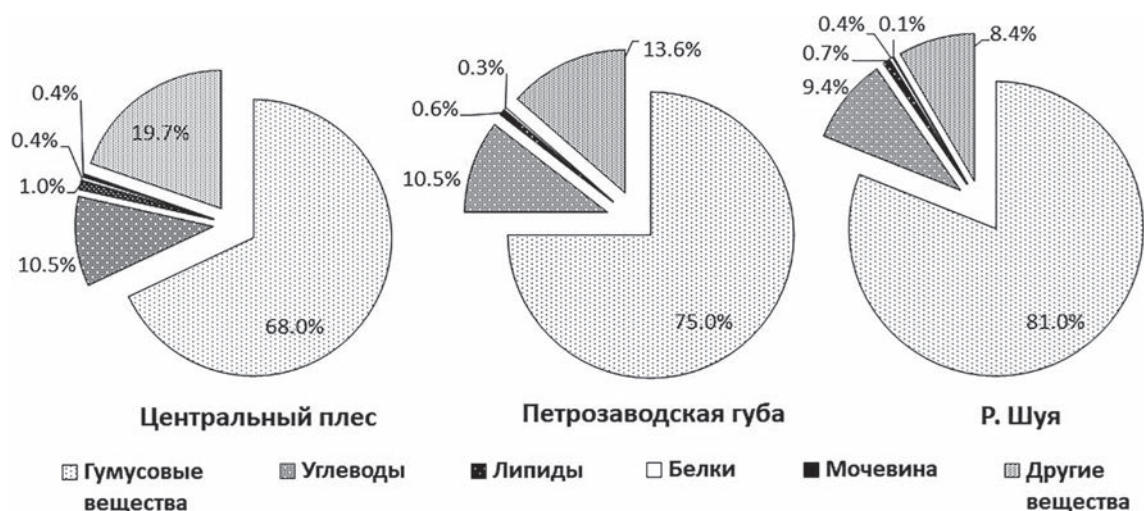


Рис. 4. Среднесезонное содержание основных компонентов органического вещества

Fig. 4. The average seasonal content of main organic matter components

углеводов, липидов, белков и мочевины) в Онежском озере позволил установить их соотношение в составе ОВ в различные сезоны 2016–2017 гг. Как видно из рис. 4, ОВ Онежского озера в основном представлено гумусовыми веществами (68–81 %) и их доля увеличивается с ростом гумусности объекта. В связи с этим наименьшее их количество отмечается в низкогумусном Центральном плесе, а наибольшее – в высокогумусной р. Шуе.

Вторым по количественному содержанию компонентом в составе ОВ являются углеводы, на их долю в среднем приходится 10 %. Значительно меньше содержится липидов (~1 %), белков (~0,4 %) и мочевины (~0,3 %). На другие, неизученные, компоненты ОВ, такие как свободные аминокислоты, нуклеиновые кислоты, летучие органические соединения и др., в среднем приходится 14 % от общего содержания ОВ.

Рассматривая сезонное распределение исследуемых компонентов, удалось выявить следующие закономерности. Наибольшее количество гумусовых веществ в составе ОВ наблюдалось зимой: в Центральном плесе оно достигало 83 %, в Петрозаводской губе – 80 % и в р. Шуе – 90 %, что связано с практически полным отсутствием продукционных процессов в указанный период (рис. 5). При этом сезонная динамика содержания гуминовых кислот в составе гумусовых веществ оставалась практически неизменной (~10 %) (см. табл. 1).

Максимальная доля углеводов в составе ОВ отмечалась в осенний период в поверхностном горизонте Центрального плеса Онежского озера (20 %), минимальная – в зимний период в придонном горизонте (5,9 %). Процентное со-

держание белков уменьшалось от осени к весне. Аналогичная картина наблюдалась в Центральном плесе и в отношении липидов (0,8; 0,4; 0,2 % – осень, зима, весна соответственно).

Исследование состава автохтонного и аллохтонного ОВ показало, что основным идентифицированным компонентом автохтонного ОВ являются свободные углеводы, на их содержание в среднем приходится 30 % (рис. 6). В осенний период их доля достигает максимума – 48 %. Возможно, это связано с более активным развитием сине-зеленых водорослей в осенний период по сравнению с зимним и весенним. Известно, что у *Aph. flos-aquae*, представителя сине-зеленых водорослей, концентрация углеводов может достигать в осенний период до 40 % сухой массы [Барашков, 1972].

Другим компонентом в составе автохтонного ОВ являются липиды – в среднем 11 %. Максимальное их содержание было выявлено в зимний период и составило в Центральном плесе Онежского озера 39 %, в Петрозаводской губе – 30 %. В весенний и осенний периоды в этих водных объектах оно не превышало 5 %. Связано это с отсутствием продуцирования ОВ в водоемах и самым низким содержанием автохтонного ОВ в зимний период по сравнению с другими сезонами года, что приводит к доминирующей роли липидов в составе автохтонного ОВ зимой.

Количество белков в автохтонном ОВ изменялось в небольшом диапазоне от 1,1 до 5,6 % (в среднем 3 %) от автохтонного ОВ. Сезонной изменчивости в их содержании не выявлено.

Аллохтонное ОВ представлено в основном гумусовыми веществами, содержание которых оставалось практически неизменным в течение

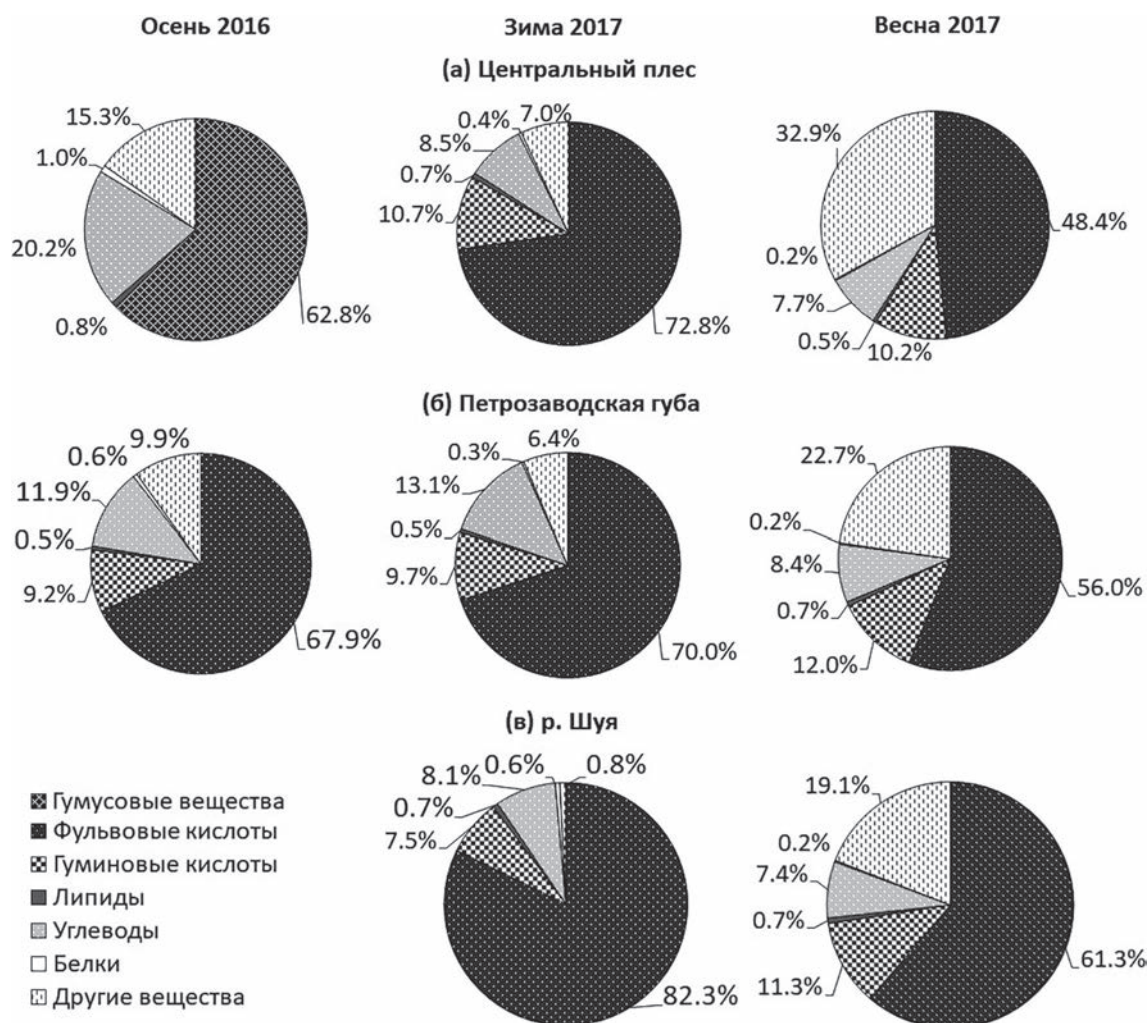


Рис. 5. Соотношение основных компонентов органического вещества в воде Центрального плеса (а), Петрозаводской губы Онежского озера (б) и р. Шуи (в) в различные сезоны 2016–2017 гг.

Fig. 5. Ratio of organic matter main components in water of the central part of Lake Onego (а), Petrozavodsk Bay (б) and the Shuya River (в) in different seasons 2016–2017



Рис. 6. Среднесезонное соотношение компонентов в составе автохтонного органического вещества

Fig. 6. The average seasonal ratio of components in the composition of autochthonous organic matter

всего периода наблюдений. Так, в Петрозаводской губе и в Центральном плесе на их долю приходилось 88 и 90 % соответственно. В составе гумусовых веществ были определены связанные углеводы, доля которых в среднем составляла около 6 %. На всех станциях Онежского озера и р. Шуи преобладали фульвовые кислоты: в поверхностном слое 79–92 % от общего количества гумусовых веществ и в придонном – 83–88 %. Концентрация гуминовых кислот была стабильно низкой в течение года, и только в весенний период в губе и устье реки наблюдалось ее небольшое увеличение. Это связано с тем, что гуминовые кислоты интенсивно закрепляются в почвах в виде комплексов с ионами металлов, поэтому для них характерна меньшая растворимость в воде, а значит, поступление с водосборной территории ограничено [Лапин, Красюков, 1986].

Выводы

Анализ количественного содержания основных компонентов ОВ (гумусовых веществ, углеводов, липидов, белков и мочевины) в Онежском озере позволил установить их соотношение в составе ОВ в различные сезоны 2016–2017 гг. ОВ в Онежском озере в основном представлено гумусовыми веществами (68–81 %). Их изменчивость в составе ОВ в основном зависит от объема поступления с водосборной территории, а также от распределения в толще озерной воды и различных гидрологических условий. В связи с этим их содержание постепенно уменьшается от высокогумусной р. Шуи до низкогумусного Центрального плеса Онежского озера.

Вторым по количественному содержанию компонентом в составе ОВ являются углеводы (10 %), значительно меньше содержится липидов (~1 %), белков (~ 0,4 %) и мочевины (~ 0,3 %). На другие неизученные компоненты ОВ, такие как свободные аминокислоты, нуклеиновые кислоты, летучие органические соединения и др., в среднем приходится 14 % от общего содержания ОВ. Полученные значения лабильных компонентов ОВ на исследованных участках озера свидетельствуют о его хорошей ассимиляционной способности и стабильности экосистемы.

В составе автохтонного ОВ основным идентифицированным компонентом являются свободные углеводы (30 %), значительно меньше выявлено липидов (11 %), белков (3 %) и мочевины (2 %). Аллохтонное ОВ представлено в основном гумусовыми веществами (в Петрозаводской губе – 88 %, в Центральном плесе –

90 %), в составе которых преобладают фульвовые кислоты.

Сезонное изменение концентраций углеводов, липидов и белков связано с особенностями продукционных процессов в водоеме, в то время как содержание гумусовых веществ остается достаточно стабильным в течение всего периода наблюдений.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).

Литература

Агатова А. И. Органическое вещество в морях России. М.: ВНИРО, 2017. 260 с.

Агатова А. И., Лапина Н. М., Торгунова Н. И. Органическое вещество, его элементарный и биохимический состав в водах российской части Арктического бассейна в современных условиях // *Океанология*. 2011. Т. 51, № 3. С. 450–460.

Агатова А. И., Лапина Н. М., Торгунова Н. А. Органическое вещество Белого моря // *Система Белого моря*. М.: Научный мир, 2012. Т. II. С. 92–548.

Агатова А. И., Лапина Н. М., Торгунова Н. А., Кирпичев К. Б. Биохимические исследования морских экосистем солоноватых вод // *Водные ресурсы*. 2001. Т. 28, № 4. С. 470–479.

Барашков Г. К. Сравнительная биохимия водорослей. М.: Пищ. пром., 1972. 334 с.

Ефремова Т. А., Сабылина А. В., Лозовик П. А. Лабильные органические вещества: углеводы, липиды и белки в Онежском озере // *Труды КарНЦ РАН*. № 6. 2013. С. 96–104.

Зобков М. Б., Зобкова М. В. Устройство для определения органического углерода в воде с фотохимическим персульфатным окислением в системе непрерывного газового потока и ИК-Фурье спектрометрическим детектированием // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. № 8. 2015. С. 10–15.

Зобкова М. В., Ефремова Т. А., Лозовик П. А., Сабылина А. В. Баланс органического вещества в озерах Карелии // *Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы I Междунар. конф. (11–15 сентября 2017 г.)*. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 358–364.

Зобкова М. В., Ефремова Т. А., Лозовик П. А., Сабылина А. В. Органическое вещество и его компоненты в поверхностных водах гумидной зоны // *Успехи современного естествознания*. 2015. № 12. С. 115–120.

Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 61–67.

Лапин И. А., Красюков В. И. Содержание гуминовых и фульвокислот в поверхностных водах СССР // Водные ресурсы. 1991. Т. 3. С. 195–199.

Лапин И. А., Красюков В. И. Роль гумусовых веществ в процессах комплексобразования и миграции металлов в природных водах // Водные ресурсы. 1986. № 1. С. 134–145.

Левшина С. И. Гумусовые кислоты в речных водах Приамурья // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 101–105.

Лозовик П. А., Ефременко Н. А. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.

Лозовик П. А., Зобкова М. В., Рыжаков А. В., Зобков М. Б., Ефремова Т. А., Сабылина А. В., Ефремова Т. В. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество природных вод: кинетические и термодинамические закономерности трансформации, количественный и качественный составы // ДАН. 2017. Т. 477, № 6. С. 728–732. doi: 10.7868/S086956521736021X

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, № 2. С. 225–237.

Лозовик П. А., Мусатова М. В. Методика разделения органического вещества природных вод адсорбцией на диэтиламиноэтилцеллюлозе на автохтонную и аллохтонную составляющие // Вестник МГОУ. Сер. Естественные науки. 2013. № 3. С. 63–68.

Лозовик П. А., Фрейндлиг В. А. Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: Карелия, 1991. 212 с.

Немировская И. А., Артемьев В. А. Взвесь и компоненты органического вещества в поверхностных водах Южного и Атлантического океанов // Океанология. 2013. Т. 53, № 1. С. 42–52. doi: 10.7868/S0030157413010152

Онежское озеро. Экологические проблемы / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 293 с.

Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. 325 с.

Раймонд Дж. Планктон и продуктивность океана. Зоопланктон: В 2-х частях. Ч. II / Ред. Дж. Раймонд. М.: Агропромиздат, 1988. Т. 2. С. 223–263.

Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры / Ред. А. И. Агатова. М.: ВНИРО, 2004. 123 с.

Рыжаков А. В., Кукконен Н. А. Мочевина в водных объектах гумидной зоны // Экологическая химия. 2014. Т. 23, вып. 1. С. 44–48.

Сабылина А. В. Химический состав воды притоков // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 61–67.

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.

Сабылина А. В., Ефремова Т. А., Рыжаков А. В. Содержание белков в Онежском и Ладожском озерах и реках Свирь и Нева // Экологическая химия. Т. 26, № 2. 2017. С. 79–86.

Шаова Л. Г. Самоочищение природных вод от редуцирующих сахаров: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Новочеркасск, 1971. 29 с.

Aitkenhead-Peterson J. A., McDowell W. H., Neff J. C. Sources, production, and regulation of allochthonous dissolved organic matter inputs to surface waters // Findlay S. E. G., Sinsabaugh R. L. (eds). Aquatic ecosystems: interactivity of dissolved organic matter. San Diego: Academic Press, 2003. P. 25–69.

APHA: Standard methods for the examination of water and wastewater, 1999, by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Bade D. L., Carpenter S. R., Cole J. J., Pace M. L., Kritzberg E., Van de Bogert M. C., Cory R. M., McKnight D. M. Sources and fates of dissolved organic carbon isotope additions // Biogeochemistry. 2007. Vol. 84. P. 115–129. doi: 10.1007/s10533-006-9013-y

Benner R. Chemical composition and reactivity // Biogeochemistry of marine dissolved organic matter / Ed. D. A. Hansell, C. Carlson. San Diego: Academic Press, 2002. P. 59–90.

Cho B. C., Azam F. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's euphotic zone // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1990. Vol. 63. P. 253–259.

Cory R. M., McKnight D. M., Chin Y. P., Miller P., Jaroos C. L. Chemical characteristics of fulvic acids from Arctic surface waters: microbial contributions and photochemical transformations // J. Geophys. Res. Biogeosci. 2007. Vol. 112. G04s51. doi: 10.1029/2006JG000343

Curtis P. J. Climatic and hydrologic control of DOM concentration and quality in lakes // Aquatic humic substances: ecology and biogeochemistry / Eds. D. O. Hessen, L. J. Tranvik. 1998. P. 93–105.

Kim B. K., Lee S. H., Ha S. Y., Jung J., Kim T. W., Yang E. J., Jo N., Lim Yu J., Park J., Lee S. H. Vertical distributions of macromolecular composition of particulate organic matter in the water column of the Amundsen Sea Polynya during the summer in 2014 // J. Geophys. Res. Oceans. 2018. P. 123. doi: 10.1002/2017JC013457

Liebezeit G. Particulate carbohydrate fluxes in the Bransfield Strait and the Drake Passage // Mar. Chem. 1987. Vol. 20. P. 255–261.

Linnik P. N., Ivanechko Ya. S., Linnik R. P., Zhezherya V. A. Humic substances in surface waters of the Ukraine // Russ. J. Gen. Chem. 2013. Vol. 83, no. 13. P. 2715–2730. doi: 10.1134/S1070363213130185

McKnight D. M., Aiken G. R. Sources and age of aquatic humus // Aquatic Humic Substances: Ecology and Biogeochemistry / Eds. Hessen D. O., Tranvik L. J. Berlin: Springer-Verlag, 1998. P. 9–40.

Rocker D., Kisand V., Scholz-Böttcher B., Kneib T., Lemke A., Rullkotter J., Meinhard S. Differential decomposition of humic acids by marine and estuarine bacterial communities at varying salinities // Biogeochemistry. 2012. Vol. 111. P. 331–346. doi: 10.1007/s10533-011-9653-4

Sellner K. G. Primary productivity and the flux of dissolved organic matter in several marine environments // Mar. Biol. 1981. Vol. 65. P. 101–106.

Xenopoulos M. A., Lodge D. M., Frentress J., Kreps T. A., Bridgham S. D., Grossman E., Jackson C. J. Regional comparison of watershed determinants of dissolved organic carbon in temperate lakes from the Upper Great Lakes region and selected regions globally

// Limnol. Oceanogr. 2003. Vol. 48. P. 2321–2334. doi: 10.4319/lo.2003.48.6.2321

Поступила в редакцию 05.03.2019

References

Agatova A. I. Organicheskoe veshchestvo v moryakh Rossii [Organic matter in the seas of Russia]. Moscow: VNIRO, 2017. 260 p.

Agatova A. I., Lapina N. M., Torgunova N. A. Organicheskoe veshchestvo Belogo morya [Organic matter of the White Sea]. *Sistema Belogo morya* [System of the White Sea]. Moscow: Nauchnyi mir, 2012. Vol. II. P. 92–548.

Agatova A. I., Lapina N. M., Torgunova N. A., Kirpichev K. B. Biokhimicheskie issledovaniya morskikh ekosistem solonovatykh vod [Biochemical studies of brackish marine ecosystems]. *Vodnye resursy* [Water Res.]. 2001. Vol. 28, no. 4. P. 470–479.

Agatova A. I., Lapina N. M., Torgunova N. I. Organicheskoe veshchestvo, ego elementarnyi i biokhimicheskii sostav v vodakh rossiiskoi chasti Arkticheskogo basseina v sovremennykh usloviyakh [Elemental and biochemical composition of organic matter in the waters of the Russian sector of the Arctic Basin under the present conditions]. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2011. Vol. 51, no. 3. P. 450–460.

Barashkov G. K. Sravnitel'naya biokhimiya vodoroslei [Comparative biochemistry of algae]. Moscow: Pishch. prom., 1972. 334 p.

Efremova T. A., Sabylina A. V., Lozovik P. A. Labil'nye organicheskie veshchestva: uglevody, lipidy i belki v Onezhskom ozere [Labile organic matter: (carbohydrates, lipids and proteins) in Lake Onega]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2013. No. 6. P. 96–104.

Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyaniye i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh [The largest lakes-reservoirs of the north-west European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 61–67.

Lapina I. A., Krasyukov V. I. Soderzhanie guminovykh i ful'vokisl'ot v poverkhnostnykh vodakh SSSR [The content of humic and fulvic acids in the surface waters of the USSR]. *Vodnye resursy* [Water Res.]. 1991. Vol. 3. P. 195–199.

Lapina I. A., Krasyukov V. N. Rol' gumusovykh veshchestv v protsessakh kompleksobrazovaniya i migratsii metallov v prirodnykh vodakh [The role of humic substances in the complex formation and migration of metals in natural waters]. *Vodnye resursy* [Water Res.]. 1986. No. 1. P. 134–145.

Levshina S. I. Gumusovye kisloty v rechnykh vodakh Priamur'ya [Humic acids in the Amur River waters]. *Geografiya i prirod. resursy* [Geography and Natural Res.]. 2005. No. 4. P. 42–47.

Lozovik P. A., Efremenko N. A. Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrokhimicheskoi praktike [Analytical, kinetic and calculation methods in hydro-

chemical practice]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. 272 p.

Lozovik P. A., Frejndling V. A. Poverkhnostnye vody ozerno-rechnoi sistemy Shui v usloviyakh antropogenogo vozdeistviya [The surface waters of the lake-river system of the Shuya under the conditions of anthropogenic impact]. Petrozavodsk: Kareliya, 1991. 212 p.

Lozovik P. A., Morozov A. K., Zobkov M. B., Dukhovicheva T. A., Osipova L. A. Allochthonoe i avtochthonoe organicheskoe veshchestvo v poverkhnostnykh vodakh Karelii [Allochthonous and autochthonous organic matter in the surface waters of Karelia]. *Vodnye resursy* [Water Res.]. 2007. Vol. 34, no. 2. P. 225–237.

Lozovik P. A., Musatova M. V. Metodika razdeleniya organicheskogo veshchestva prirodnykh vod adsorbtsiei na dietilaminoetilsellyuloze na avtokhtonnyu i allochthonnyu sostavlyayushchie [The method of separation of organic matter from natural waters by adsorption on diethylaminoethylcellulose into autochthonous and allochthonous components]. *Vestnik MGOU. Ser. Estestv. nauki* [Vestnik MGOU. Nat. Sci. Series]. 2013. No. 3. P. 63–68.

Lozovik P. A., Zobkova M. V., Ryzhakov A. V., Zobkov M. B., Efremova T. A., Sabylina A. V., Efremova T. V. Allochthonoe i avtokhtonoe organicheskoe veshchestvo prirodnykh vod: kineticheskie i termodinamicheskie zakonomernosti transformatsii, kolichestvennyi i kachestvennyi sostavy [Allochthonous and autochthonous organic matter of natural waters: kinetic and thermodynamic laws of transformation, quantitative and qualitative composition]. *Dokl. Akademii nauk* [Dokl. Acad. Sci.]. 2017. Vol. 477, no. 6. P. 728–732. doi: 10.7868/S086956521736021X

Nemirovskaya I. A., Artem'ev V. A. Vzves' i komponenty organicheskogo veshchestva v poverkhnostnykh vodakh Yuzhnogo i Atlanticheskogo okeanov [Suspension and components of organic matter in the surface waters of the Southern and Atlantic Oceans]. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2013. Vol. 53, no. 1. P. 42–52. doi: 10.7868/S0030157413010152

Onezhskoe ozero. *Ekologicheskie problemy* [Lake Onega. Environmental problems]. Eds. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. 293 p.

Orlov D. S. Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii [Soil humic acids and general theory of humification]. Moscow: MGU, 1990. 325 p.

Raymond J. Plankton i produktivnost' okeana [Plankton and ocean productivity]. Moscow: Agropromizdat, 1988. Zooplankton. Vol. 2(2). P. 223–263.

Rukovodstvo po sovremennym biokhimicheskim metodam issledovaniya vodnykh ekosistem, perspektivnykh dlya promysla i marikul'tury [Manual on modern biochemical methods for studying aquatic ecosystems promising for fishing and mariculture]. Moscow: VNIRO, 2004. 123 p.

Ryzhakov A. V., Kukkonen N. A. Mochevina v vodnykh ob'ektakh gumidnoi zony [Urea in water bodies of the humid zone]. *Ekol. khimiya* [Environmental Chem.]. 2014. Vol. 23(1). P. 44–48.

Sabylina A. V., Efremova T. A., Ryzhakov A. V. Soderzhanie belkov v Onezhskom i Ladozhskom ozerakh i rekakh Svir' i Neva [Protein content in Onego and Ladooga lakes and rivers Svir and Neva]. *Ekol. khimiya* [Environmental Chem.]. 2017. Vol. 26, no. 2. P. 79–86.

Sabylina A. V., Lozovik P. A., Zobkov M. B. Khimicheskii sostav vody Onezhskogo ozera i ego pritokov [Chemical composition of water in Lake Onega and its tributaries]. *Vodnye resursy* [Water Res.]. 2010. Vol. 37, no. 6. P. 717–729.

Shaova L. G. Samoochishchenie prirodnykh vod ot redutsiruyushchikh sakharov [Self-purification of natural waters from reducing sugars]: Summary of PhD (Cand. of Chem.) thesis. Novocherkassk, 1971. 186 p.

Zobkov M. B., Zobkova M. V. Ustroistvo dlya opredeleniya organicheskogo ugleroda v vode s fotokhimicheskimi persulfatnymi oksidirovaniyami v sisteme nepreryvnogo gazovogo potoka i IK-Fur'e spektrometricheskimi detektirovaniyami [A device for determining organic carbon in water with photochemical persulfate oxidation in a continuous gas flow system and FTIR spectroscopic detection]. *Zavodskaya lab. Diagnostika materialov* [Factory lab. Material diagnostics]. 2015. No. 8. P. 10–15.

Zobkova M. V., Efremova T. A., Lozovik P. A., Sabylina A. V. Balans organicheskogo veshchestva v ozerakh Karelii [Organic matter balance in lakes of Karelia]. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya: Mat. I Mezhdunar. konf. (11–15 sent. 2017 g.)* [Lakes of Eurasia: problems and solutions. Proceed. 1st int. conf. (Sept. 11–12, 2017)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. P. 358–364.

Zobkova M. V., Efremova T. A., Lozovik P. A., Sabylina A. V. Organicheskoe veshchestvo i ego komponenty v poverkhnostnykh vodakh gumidnoi zony [Organic matter and its components in surface waters of humid zone]. *Uspekhi sovr. estestvoznaniya* [Advances in Current Nat. Sci.]. 2015. No. 12. P. 115–120.

Aitkenhead-Peterson J. A., McDowell W. H., Neff J. C. Sources, production, and regulation of allochthonous dissolved organic matter inputs to surface waters. In: *Findlay S. E. G., Sinsabaugh R. L.* (eds). *Aquatic ecosystems: interactivity of dissolved organic matter*. San Diego, Academic Press, 2003. P. 25–69.

APHA: *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 1999, by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Bade D. L., Carpenter S. R., Cole J. J., Pace M. L., Kritzberg E., Van de Bogert M. C., Cory R. M.,

McKnight D. M. Sources and fates of dissolved organic carbon isotope additions. *Biogeochem.* 2007. Vol. 84. P. 115–129. doi: 10.1007/s10533-006-9013-y

Benner R. Chemical composition and reactivity. *Biogeochem. of marine dissolved organic matter*. Ed. D. A. Hansell, C. Carlson. San Diego: Academic Press, 2002. P. 59–90.

Cho B. C., Azam F. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's euphotic zone. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 1990. Vol. 63. P. 253–259.

Cory R. M., McKnight D. M., Chin Y. P., Miller P., Jaroos C. L. Chemical characteristics of fulvic acids from Arctic surface waters: microbial contributions and photochemical transformations. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 2007. Vol. 112. G04s51. doi: 10.1029/2006JG000343

Curtis P. J. Climatic and Hydrologic Control of DOM Concentration and Quality in Lakes. In: *Aquatic Humic Substances: Ecology and Biogeochem.* Eds. D. O. Hessen, L. J. Tranvik. 1998. P. 93–105.

Kim B. K., Lee S. H., Ha S. Y., Jung J., Kim T. W., Yang E. J., Jo N., Lim Yu J., Park J., Lee S. H. Vertical distributions of macromolecular composition of particulate organic matter in the water column of the Amundsen Sea Polynya during the summer in 2014. *J. Geophys. Res. Oceans.* 2018. 123 p. doi: 10.1002/2017JC013457

Liebezeit G. Particulate carbohydrate fluxes in the Bransfield Strait and the Drake Passage. *Mar. Chem.* 1987. Vol. 20. P. 255–261.

Linnik P. N., Ivanechko Ya. S., Linnik R. P., Zhezherya V. A. Humic substances in surface waters of the Ukraine. *Russ. J. Gen. Chem.* 2013. Vol. 83, no. 13. P. 2715–2730. doi: 10.1134/S1070363213130185

McKnight D. M., Aiken G. R. Sources and age of aquatic humus. In: *Aquatic Humic Substances: Ecology and Biogeochem.* Eds. D. O. Hessen, L. J. Tranvik. 1998. P. 9–40.

Rocker D., Kisand V., Scholz-Böttcher B., Kneib T., Lemke A., Rullkotter J., Meinhard S. Differential decomposition of humic acids by marine and estuarine bacterial communities at varying salinities. *Biogeochem.* 2012. Vol. 111. P. 331–346. doi: 10.1007/s10533-011-9653-4

Sellner K. G. Primary productivity and the flux of dissolved organic matter in several marine environments. *Mar. Biol.* 1981. Vol. 65. P. 101–106.

Xenopoulos M. A., Lodge D. M., Frenress J., Kreps T. A., Bridgham S. D., Grossman E., Jackson C. J. Regional comparison of watershed determinants of dissolved organic carbon in temperate lakes from the Upper Great Lakes region and selected regions globally. *Limnol. Oceanogr.* 2003. Vol. 48. P. 2321–2334. doi: 10.4319/lo.2003.48.6.2321

Received March 05, 2019

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ефремова Татьяна Алексеевна

младший научный сотрудник лаб. гидрохимии
и гидрогеологии
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: efremova.nwpi@mail.ru

Зобкова Мария Валентиновна

младший научный сотрудник лаб. гидрохимии
и гидрогеологии
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: rincalika21@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Efremova, Tatyana

Northern Water Problems Institute,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: efremova.nwpi@mail.ru

Zobkova, Mariya

Northern Water Problems Institute,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: rincalika21@yandex.ru