

## Углеводы в поверхностных водах Карелии и их связь с содержанием биогенных и органических веществ

© 2023. Т. А. Ефремова, м. н. с.,

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, д. 50,  
e-mail: efremova.nwpi@mail.ru

Обобщены результаты многолетних исследований, посвящённых изучению содержания углеводов в природных водах Республики Карелия с 2011 по 2020 гг. Исследования проведены на 34 водных объектах (29 озёрах и 5 реках) в разные гидрологические сезоны. Представленная выборка водных объектов отражает практически все типы поверхностных вод гумидной зоны по уровню трофности и гумусности. В результате исследований было установлено, что концентрация углеводов варьирует в очень широких пределах от 0,7 до 53,1 мг/л (в среднем 3,3 мг/л). Доля их от общего содержания органического вещества в среднем составляет 16%. Выявлено, что содержание и распределение углеводов в поверхностных водах зависит как от природных факторов (уровень трофности и гумусности водоёма), так и антропогенных. К последним относятся антропогенное эвтрофирование, влияние форелевых хозяйств, сброс сточных вод целлюлозно-бумажного комбината, попадание фильтрационных вод полигонов захоронения отходов, городские сточные воды.

Все исследуемые водные объекты по критерию превышения предельно допустимых концентраций были разделены на две группы: загрязнённые и незагрязнённые. Установлено, что концентрация углеводов в загрязнённых объектах в среднем в 1,4 раза выше, чем в незагрязнённых. Содержание углеводов увеличивается совместно с такими химическими показателями как биохимическое потребление кислорода на 5 сутки, химическое потребление кислорода, перманганатная окисляемость, содержание хлорофилла *a*, минерального и общего фосфора, аммония. В особенности эти связи ярко выражены в загрязнённых водных объектах, для которых отмечаются самые высокие значения коэффициента корреляции между вышеперечисленными параметрами.

**Ключевые слова:** углеводы, органическое вещество, биогенные элементы, загрязнение, поверхностные воды.

## Carbohydrates in surface waters and its relation to the nutrients and organic matter content

© 2023. Т. А. Efremova ORCID: 0000-0003-1074-1083\*

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

The results of a long-term research of the content of carbohydrates in natural waters of Republic of Karelia (Russia) from 2011 to 2020 are summarized. In total, 34 water bodies (29 lakes and 5 rivers) were studied in different hydrological seasons. The presented sample of water bodies captures almost all types of surface waters in the humid zone in terms of trophicity and humus content. It was found that the carbohydrates concentration varies widely from 0.7 to 53.1 mg/L (average 3.3 mg/L) and its share of total organic matter averages 16%. It was revealed that the content and distribution of carbohydrates in surface waters depends both on natural (the level of trophicity and humus content in the reservoir) and anthropogenic factors (eutrophication, trout farms, industrial wastewater discharge, seepage waters of solid waste landfills, communal wastewater). In addition, all the studied water bodies were categorized into two groups according to the water pollution degree: contaminated and uncontaminated. It was revealed that the concentration of carbohydrates in contaminated water bodies of Karelia is on average 1.4 times higher than in uncontaminated ones. In addition, the content of carbohydrates increases together with such chemical parameters as 5-day biochemical oxygen demand ( $BOD_5$ ), chemical oxygen demand ( $COD_{Cr}$ ), permanganate oxygen demand ( $COD_{Mn}$ ), chlorophyll *a*, mineral and total phosphorus ( $P_{min}$  and  $P_{total}$  relatively) and ammonium ( $N-NH_4^+$ ). In particular, these relations are pronounced in contaminated water bodies, where the highest values of the correlation coefficient between the above parameters are noted. The content of carbohydrates in surface waters is a complex indicator of both organic and biogenic water pollution.

**Keywords:** carbohydrates, organic matter, nutrients, contamination, surface waters.

Органическое вещество (ОВ) играет важную роль в водных экосистемах. Оно является пищей для живых организмов, способствует миграции химических элементов в водной среде и во многом определяет качество воды. В водных экосистемах фитопланктон и микрофитобентос относятся к основным продуцентам ОВ, и именно этой группе организмов принадлежит доминирующая роль в формировании «глобальной первичной продукции» [1]. Как известно, состав ОВ не постоянен и может изменяться в зависимости от интенсивности первичного продуцирования, преобразования ОВ вторичными продуцентами, поступления с водосборной территории и степени антропогенного влияния. Но влияние этих процессов на экосистему легче проследить и оценить по индивидуальным химическим компонентам ОВ.

В зависимости от источника происхождения ОВ природных вод делят на автохтонное и аллохтонное. Главным компонентом автохтонного ОВ являются углеводы, аллохтонного – гумусовые вещества [2]. Углеводы являются основным продуктом первичного продуцирования ОВ, которые в дальнейшем преобразуются в другие соединения в результате клеточного метаболизма [3]. Они также оказывают влияние на круговорот ОВ в водоёмах и отражают функционирование водных экосистем [4]. Паводковые воды и атмосферные осадки вымывают углеводы из почв, которые представляют собой мощный аккумулятор органических соединений, образующийся в результате биохимического разложения растительных и животных организмов [5]. Углеводы также поступают со сточными водами предприятий пищевой и целлюлозно-бумажной промышленности [6].

В литературе имеются обширные сведения о содержании, распределении и трансформации углеводов в чистых природных водах [7–9] и крайне ограниченные в загрязнённых водах [6, 10].

Целью данной работы являлось выявление закономерностей пространственного распределения углеводов в поверхностных водах Карелии, а также установление связей между их содержанием и концентрациями органических и биогенных веществ в воде, в том числе отдельно в загрязнённых и не загрязнённых водных объектах.

### Объекты и методы исследования

В различные гидрологические сезоны с 2011 по 2020 гг. было исследовано 34 водных

объекта Карелии (29 озёр и 5 рек). Всего было проанализировано 198 проб (*n*). Пробы отбирались с поверхностного и придонного горизонтов в различные гидрологические сезоны. Объекты исследования выбирались на основе архивной гидрохимической информации по более чем 800 водным объектам Карелии. Их ранжировали по геохимической классификации П.А. Лозовика по щёлочности, гумусности и трофности [11] с использованием автоматизированной системы обработки гидрохимической информации [12]. Водоёмы и водотоки для исследования выбирались на основе имеющейся информации таким образом, чтобы они наиболее полно отражали геохимические особенности поверхностных вод Карелии и при этом имели возможность подъезда на автотранспорте для проведения полевых работ.

Определение валового содержания углеводов проводилось по фотометрической методике с L-триптофановым реактивом, адаптированной к поверхностным водам с повышенным содержанием гумусовых веществ в воде [13]. Другие химические показатели анализировали по методикам, принятым в гидрохимической практике [13]: аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ) – фотометрическим индофенольным методом; нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ) – восстановлением на кадмиевом редуторе и с последующим анализом нитритов с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)-этилендиамина дигидрохлоридом; азот общий ( $\text{N}_{\text{общ.}}$ ) – персульфатным окислением в щелочной среде; фосфор общий ( $\text{P}_{\text{общ.}}$ ) – персульфатным окислением и последующим анализом фосфора минерального ( $\text{P}_{\text{мин.}}$ );  $\text{P}_{\text{мин.}}$  – фотометрическим методом Морфи и Райли; перманганатная окисляемость (ПО) – в кислой среде по Кубелю; химическое потребление кислорода (ХПК) – титриметрическим методом; биохимическое потребление кислорода на 5 суток (БПК<sub>5</sub>) – скляночным методом; хлорофилл *a* – спектрофотометрическим методом.

Доля углеводов от общего содержания ОВ (по ХПК) рассчитывается следующим образом:

$$\% \text{ от ОВ} = \frac{C \cdot 1,07}{\text{ХПК}} \cdot 100,$$

где 1,07 – коэффициент пересчёта концентрации глюкозы на её ХПК; *C* – концентрация углеводов, мгО/л.

Все исследованные водные объекты разделялись на две группы: загрязнённые и незагрязнённые. Степень загрязнения исследуемых водных объектов была оценена

по ПДК для рыбохозяйственных водоёмов, утверждённых Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552, по следующим показателям: БПК<sub>5</sub>, P<sub>мин.</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. ПДК для ПО взято для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ГН 2.1.5.1315-03).

Для статистической обработки данных использовалось свободно распространяемое программное обеспечение Sofa statistics 1.4.6 (<http://www.sofastatistics.com>). Данные химического анализа имели лог-нормальное распределение, поэтому для применения методов параметрической статистики они были приведены к нормальному виду путём логарифмирования. Для поиска взаимосвязей между показателями использовался параметрический тест Пирсона. Для определения статистически значимой разницы в содержании углеводов в загрязнённых и не загрязнённых водах был применён независимый *t*-test. Для установления статистически значимой разницы в содержании углеводов в разнотипных по уровню трофии и гумусности водных объектах использовался тест ANOVA. В статистических тестах использовался уровень значимости 0,05.

### Результаты и обсуждение

По результатам данного исследования концентрация углеводов в поверхностных водах Карелии варьирует в очень широких пределах: от 0,7 до 53,1 мг/л, и в среднем составляет 3,3 мг/л. При этом их доля в общем содержании ОБ в среднем составляет 16%. Содержание ОБ в природных водах – это

интегральный показатель, величина которого зависит от многих факторов: трофности и гумусности вод, соотношения скоростей продукционно-деструкционных процессов, величины речного и антропогенного стоков. Поэтому такая высокая изменчивость содержания углеводов в одной климатической зоне обусловлена многими факторами, прежде всего, высокой вариабельностью содержания самого ОБ. Так, содержание его в исследуемых водах Карелии по косвенным показателям варьирует в диапазоне: ХПК – 7,6–529,3, мгО/л (в среднем 27,5 мгО/л), ПО – 2,1–202,2 (в среднем 20,5 мгО/л), БПК<sub>5</sub> – 0,1–37,9 мгО<sub>2</sub>/л (в среднем 1,7 мгО<sub>2</sub>/л). По критерию ПДК из 34 обследованных водных объектов Карелии 5 было отнесено к загрязнённым (табл. 1).

Так, максимальное содержание углеводов (53,1 мг/л) было отмечено в р. Сельгская в летний период 2020 г., принимающей сток с полигона захоронения активных илов станции биологической очистки сточных вод г. Петрозаводска (рис. 1). Кроме того, фильтрационные воды полигона активных илов с высоким значением рН, дренирующие заболоченную территорию, способствуют вымыванию гумусовых веществ из почвы и торфа и, как следствие, усиленному поступлению ОБ в реку [14].

Другим выявленным антропогенным источником загрязнения являются городские стоки. Было отмечено, что повышенные концентрации углеводов, в особенности в осенний сезон 2020 г. (7,3 мг/л), наблюдались в р. Неглинка, протекающей в городской черте г. Петрозаводска (рис. 1). Согласно государственным докладом о состоянии окружающей среды

Таблица 1 / Table 1

Кратность превышения ПДК по некоторым показателям содержания биогенных и органических веществ в загрязнённых водных объектах Карелии (среднее значение)  
The multiplicity of exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) for some nutrient and organic indicators in polluted water bodies of Karelia (average value)

Объекты Object	ПО COD <sub>Mn</sub>	БПК <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>	P <sub>мин.</sub> P <sub>min</sub>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Кондопожская губа Kondopozhskaya Bay	2	1,1	–*	–	–	–
Оз. Крошнозеро Kroshnozzero Lake	3	1,1	–	–	–	–
Оз. Святозеро Svyatozero Lake	1,5	–	–	–	–	2
Р. Сельгская Selgskaya River	30	4	4	5	–	–
Р. Неглинка Neglinka River	5	1,1	–	1,1	–	–

Примечание: \* – превышений по ПДК не выявлено.  
Note: \* – MPC exceedance undetected.

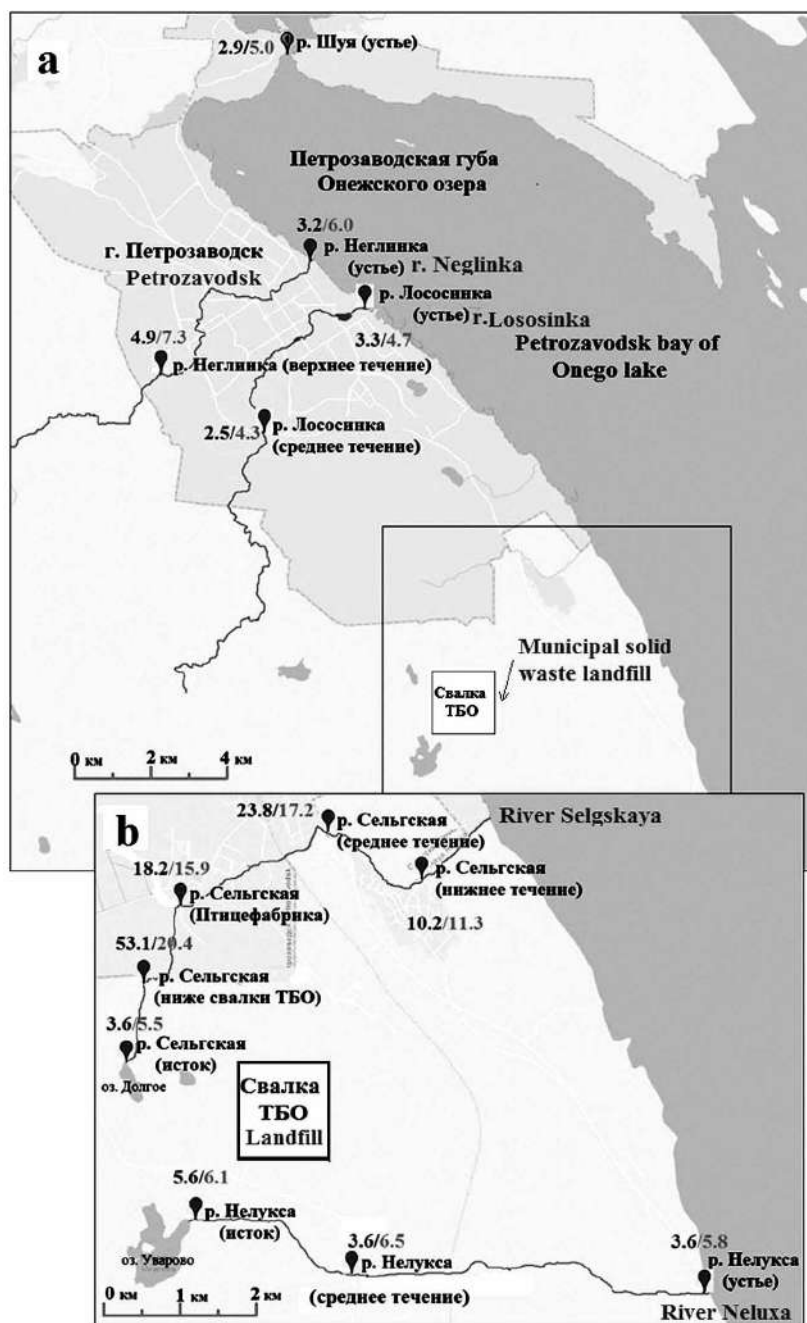


Рис. 1. Пространственное распределение углеводов в реках, подверженных антропогенному воздействию (а – городские стоки; б – фильтрационные воды полигонов захоронения отходов) в летний/осенний сезоны 2020 г.  
 Fig. 1. Spatial distribution of carbohydrates in rivers exposed to anthropogenic impact (a – communal wastewater; b – seepage waters of solid waste landfills) in the summer/autumn of 2020

Республики Карелии, в реку поступает большое количество нефтепродуктов (19,26 ПДК) и легкоминерализуемой органики (БПК<sub>5</sub> – 2,5 ПДК) [15].

Повышенные концентрации углеводов были отмечены и в вершинной части Кондопожской губы Онежского озера в месте сброса сточных вод целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) (5,5 мг/л), а также поблизости от форелевых хозяйств в средней части губы (до

5,6 мг/л), где расположены одни из крупнейших форелевых ферм России [16].

Необходимо отметить, что повышение концентраций углеводов характерно для зимне-весеннего периода, когда водообмен губы с озером ограничен ледоставом, а весной – термобаром [17]. Среднесезонные концентрации углеводов по разрезу Кондопожской губы (от центральной её части к внешней) находились в пределах от 1,9 до 3,7 мг/л.

Таблица 2 / Table 2

Средние, максимальные и минимальные концентрации углеводов в загрязнённых и незагрязнённых поверхностных водах Карелии  
Average, maximum and minimum concentrations of carbohydrates in contaminated and uncontaminated waters of Karelia

Показатель Parameters	Углеводы, мг/л / Carbohydrates, mg/L	
	незагрязнённые uncontaminated	загрязнённые contaminated
Среднее значение / Average value	3,1 <sup>+0,20*</sup> <sub>-0,22</sub>	4,2 <sup>+1,13</sup> <sub>-1,53</sub>
min	0,80	0,70
max	7,3	53,1
Количество проб, N / Number of samples, N	157	37

Примечание / Note: \* – доверительный интервал / confidence interval.

Таблица 3 / Table 3

Классификация исследуемых водных объектов Карелии по гумусности и трофности  
Classification of water bodies of Karelia by water body trophicity and humus content

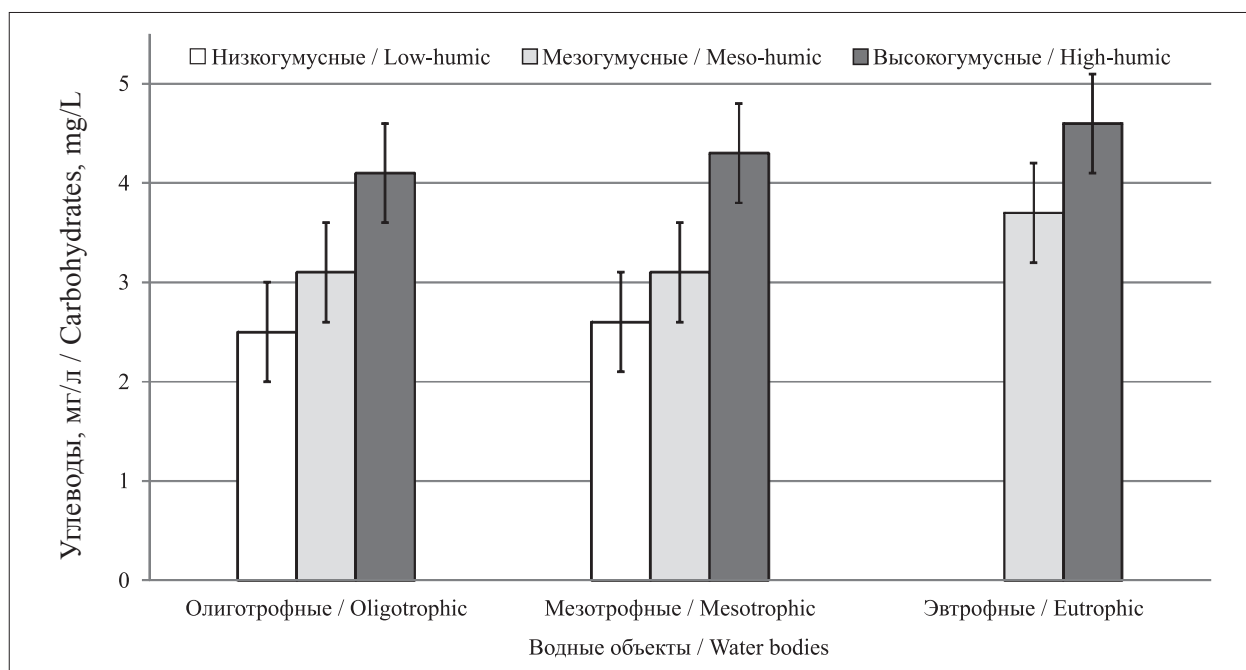
Объекты Objects	Трофность Water body trophicity	Гумусность Humus content
Озёра Урозера, Мунозеро, Чучьярви, Уросозера, центральный плёс Онежского оз. / Lakes: Urozero, Munozero, Chuchyarvi, Urosozero; central part of the Onezhskoe Lake	олиго- oligo-	низко- low-
Озёра Сандал, Лижменское, Каменное, губа Камалахта Lakes: Sandal, Lizhmenskoe, Kamennoe; Kamalakhta Bay	олиго- oligo-	мезо- meso-
Озёра Петусьярви, Вегарусьярви, Иля-Кялькянярви Lakes: Petusyarvi, Vegarusyarvi, Iya-Kyalkyanyarvi	олиго- oligo-	высоко- high-
Озёра Вендюрское, Валгомозера Lakes: Vendyurskoe, Valgomozero	мезо- meso-	низко- low-
Озёра Ладожское, Яндомозера, Падмозера, Габозера, Сямозера, Петрозаводская губа Онежского оз. / Lakes: Ladozhskoe, Yandomozero, Padmозero, Gabozero, Syamozero; Petrozavodskaya Bay of the Onezhskoe Lake	мезо- meso-	мезо- meso-
Озёра Яглярви, Кивач, Кивиярви, Луглярви, Салоньярви, Шотозера Lakes: Yaglyarvi, Kivach, Kiviyarvi, Luglyarvi, Salonyarvi, Shotozero	мезо- meso-	высоко- high-
р. Лососинка (устье) Lososinka River (mouth)	эв- eu-	мезо- meso-
Озёра Палват, Н. Ротчезера, Кутижозера, реки Шуя (устье), Нелукса (устье) Lakes: Palvat, N. Rotchezero, Kutizhozero; rivers: Shuya (mouth), Neluksa (mouth)	эв- eu-	высоко- high-

Полученные результаты позволяют рассматривать углеводы в качестве индикаторов при «цветении» воды в эвтрофных озёрах. Например, в оз. Святозеро в летний сезон 2012 г. во время активного развития фитопланктона концентрация углеводов достигала 11,0 мг/л, однако в другие сезоны года их содержание в среднем составляло 4,0 мг/л. Повышенные температуры воды летом при относительно высоком содержании биогенных веществ, в первую очередь, соединений фосфора и азота, способствуют интенсивному развитию фитопланктона. Если вспомнить уравнение фотосинтеза, в котором заключается основа существования

жизни на Земле, то углеводы являются первыми их продуктами.

В результате статистического анализа (*t*-tests-independent) было установлено, что незагрязнённые и загрязнённые водные объекты достоверно различаются по содержанию углеводов, при этом в водоёмах, подверженных антропогенному воздействию, их содержание выше в среднем в 1,4 раза (табл. 2). Таким образом, мониторинг содержания углеводов – как одного из основных биохимических компонентов ОБ [10], позволяет судить о происхождении и пищевой ценности ОБ для высших трофических уровней данной экосистемы.





**Рис. 2.** Содержание углеводов в зависимости от уровня трофности и гумусности в водных объектах Карелии с 2011 по 2020 гг. (размах показывает доверительный интервал с вероятностью 0,95)  
**Fig. 2.** Content of carbohydrates depending on the level of water body trophicity and humus content in water bodies of Karelia from 2011 to 2020 (range shows confidence interval with a probability of 0.95)

В то же время в природных водах, не подверженных антропогенному загрязнению, был выявлен ряд особенностей в распределении углеводов. Основываясь на полученной в рамках данного исследования информации, объекты были разделены по гумусности и трофности на восемь групп (табл. 3) [11].

Выявлено, что содержание углеводов близкое в олиго- и мезотрофных водоёмах и значительно выше в эвтрофной группе озёр ( $p < 0,05$ , тест ANOVA) (рис. 2). Соответственно их содержание отражает продуктивность водного объекта. При увеличении гумусности воды содержание углеводов также увеличивается (рис. 2). Это объясняется тем, что гумусовые вещества – это продукты конденсации лигнина, углеводов, белков и других веществ [5].

Установлены статистически значимые связи содержания углеводов с косвенными показателями содержания ОВ – ПО и ХПК – в исследуемых водных объектах (табл. 4). Как известно, ХПК является интегральным показателем ОВ, характеризующим суммарное его содержание. Углеводы являются преобладающим компонентом автохтонного ОВ [18], соответственно их связь с общим содержанием ОВ в природных водах вполне закономерна (табл. 4).

Что касается легкоокисляемого ОВ, то в водах, не подверженных антропогенному воздействию, не было обнаружено связи

содержания углеводов с величиной БПК<sub>5</sub> ( $p > 0,05$ ). Сравнительно низкие значения (0,3–2,1 мгО<sub>2</sub>/л) БПК<sub>5</sub> в незагрязнённых водах говорят о невысокой их продуктивности. И, напротив, в загрязнённых и эвтрофных водоёмах, где происходит активное продуцирование ОВ с образованием большого количества легкоокисляемого ОВ, связь БПК<sub>5</sub> с содержанием углеводов становится значимой, что уже было показано ранее (рис. 3). Аналогичная связь была отмечена и для углеводов с хлорофиллом *a* (табл. 4).

Выявлена связь между содержанием углеводов и концентрациями Р<sub>мин.</sub>, Р<sub>общ.</sub> и N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в обеих группах озёр (табл. 4), при этом связь содержания углеводов с концентрациями нитратов и нитритов проявляется только в загрязнённых водах. По-видимому, поступление биогенных элементов, в первую очередь фосфора, со сточными водами или с речным стоком, как и в случае с БПК<sub>5</sub>, приводит к увеличению первичной продукции, и, в свою очередь, – к возрастанию содержания углеводов. В чистых природных водах Карелии содержание нитритов характеризуется очень низкой вариабельностью (< 0,001–0,029 мгN/л, в среднем 0,001 мгN/л), в связи с этим их связи с содержанием углеводов не выявлено (табл. 4).

Сравнивая значения коэффициентов корреляции (*R*) для загрязнённых и не загрязнённых объектов можно заключить, что

Таблица 4 / Table 4

Корреляционная матрица между концентрацией углеводов и содержанием биогенных и органических веществ в обследованных водных объектах Карелии  
Correlation matrix between carbohydrates and nutrients and organic matter in water bodies of Karelia

Показатель Parameter	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	P <sub>общ.</sub> P <sub>total</sub>	P <sub>мин.</sub> P <sub>min</sub>	ПО COD <sub>Mn</sub>	ХПК <sup>*</sup> COD <sub>Cr</sub>	БПК <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>	Хлоро- филл <i>a</i> Chloro- phyll <i>a</i>
Углеводы в чистых природных водах Carbohydrates in natural water	<b><i>p</i> = 2,52e<sup>-3</sup></b> <i>R</i> = 0,27 <i>N</i> = 113	<i>p</i> = 0,09 <i>R</i> = -0,16 <i>N</i> = 117	<i>p</i> = 0,47 <i>R</i> = -0,08 <i>N</i> = 74	<b><i>p</i> = 1,64e<sup>-8</sup></b> <i>R</i> = 0,43 <i>N</i> = 154	<b><i>p</i> = 1,49e<sup>-8</sup></b> <i>R</i> = 0,51 <i>N</i> = 111	<b><i>p</i> = 7,69e<sup>-12</sup></b> <i>R</i> = 0,64 <i>N</i> = 91	<b><i>p</i> = 5,99e<sup>-15</sup></b> <i>R</i> = 0,56 <i>N</i> = 155	<i>p</i> = 0,96 <i>R</i> = 0,01 <i>N</i> = 103	<i>p</i> = 0,20 <i>R</i> = 0,17 <i>N</i> = 59
Углеводы в загрязнённых водах Carbohydrates in contaminated waters	<b><i>p</i> = 8,33e<sup>-7</sup></b> <i>R</i> = 0,80 <i>N</i> = 26	<i>p</i> = 0,02 <i>R</i> = 0,45 <i>N</i> = 26	<b><i>p</i> = 2,83e<sup>-7</sup></b> <i>R</i> = 0,86 <i>N</i> = 21	<b><i>p</i> = 7,77e<sup>-11</sup></b> <i>R</i> = 0,91 <i>N</i> = 27	<b><i>p</i> = 8,23e<sup>-4</sup></b> <i>R</i> = 0,69 <i>N</i> = 21	<b><i>p</i> = 1,64e<sup>-7</sup></b> <i>R</i> = 0,87 <i>N</i> = 22	<b><i>p</i> = 1,64e<sup>-9</sup></b> <i>R</i> = 0,90 <i>N</i> = 24	<b><i>p</i> = 3,66e<sup>-8</sup></b> <i>R</i> = 0,91 <i>N</i> = 20	<b><i>p</i> = 5,05e<sup>-3</sup></b> <i>R</i> = 0,78 <i>N</i> = 11

Примечание: жирным выделены статистически значимые связи (*p* < 0,05); *R* – коэффициент корреляции; *N* – количество проб.

Note: statistically significant relationships are highlight in bold (*p* < 0.05); *R* – correlation coefficient; *N* – number of samples.

в загрязнённых водных объектах эта связь проявляется ярче, по всей видимости, за счёт большего размаха колебаний рассматриваемых показателей в загрязнённых водах. Положительное значение коэффициента корреляции для всех выявленных зависимостей говорит о том, что содержание углеводов возрастает с увеличением концентраций в воде биогенных и органических веществ. Полученные коэффициенты корреляции (*R*) были классифицированы по шкале Чедокка. А именно, в чистых природных водах Карелии они характеризовались как: отсутствие корреляции содержания углеводов – с БПК<sub>5</sub> и нитритами; слабая связь – с аммонием, нитратами и хлорофиллом *a*; умеренная – с общим и минеральным фосфором; заметная – с ПО и ХПК. В загрязнённых природных водах Карелии: умеренная – с нитратами; высокая – с хлорофиллом *a*, ХПК, ПО, фосфором минеральным, нитритами; весьма высокая – с БПК<sub>5</sub> и общим фосфором.

### Заключение

Содержание и распределение углеводов в поверхностных водах зависит как от природных факторов (уровень трофии и гумусность водоёма), так и антропогенных, таких как антропогенное эвтрофирование, влияние форелевых хозяйств, сброс сточных вод ЦБК,

попадание фильтрационных вод полигонов захоронения отходов и городские стоки.

Установлено, что содержание углеводов увеличивается совместно с такими показателями качества воды как БПК<sub>5</sub>, ХПК, ПО, хлорофилл *a*, P<sub>мин.</sub>, P<sub>общ.</sub> и NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. В особенности эти связи ярко проявляются в загрязнённых водных объектах, где отмечаются самые высокие значения коэффициента корреляции между ними. Выявлено, что концентрация углеводов в загрязнённых водоёмах Карелии в 1,4 раза выше, чем в незагрязнённых. Таким образом, углеводы, являясь одним из основных компонентов автохтонного ОВ, могут отражать, как органическое, так и биогенное загрязнение воды, а их содержание в воде выступает в качестве комплексного индикатора этих видов загрязнений.

*Статья подготовлена при финансовом обеспечении федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ИВПС КарНЦ РАН). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».*

### Литература

1. Раймонд Д. Планктон и продуктивность океана. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. С. 214–229.

2. Ефремова Т.А., Зобкова М.В. Содержание, распределение и соотношение основных компонентов органического вещества в воде Онежского озера // Труды Карельского научного центра РАН. Серия «Лимнология и океанология». 2019. № 9. С. 60–75.

3. Mykkestad S.M., Borsheim K.V. Dynamic of carbohydrates in the Norwegian Sea inferred from monthly profiles collected during 3 years at 66°N, 2°E // *Mar. Chem.* 2007. V. 107. No. 4. P. 475–485.

4. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. М.: Наука, 1965. 326 с.

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

6. Шаова Л.Г. Самоочищение природных вод от редуцирующих сахаров: Диссертация канд. хим. наук. Новочеркасск, 1971. 186 с.

7. He Z., Wang Q., Yang G.P., Gao X.C., Wu G.W. Spatiotemporal variation characteristics and related affecting factors of dissolved carbohydrates in the East China Sea // *Continental Shelf Research*. 2015. V. 108. P. 12–24.

8. Беляева А.Н. Молекулярный состав органического вещества в океане // Новые идеи в океанологии. М.: Наука. 2004. Т. 2. С. 325–350.

9. Линник П.Н., Жежеря В.А., Линник Р.П. Роль нейтральной фракции растворенных органических веществ в миграции металлов в поверхностных водах: Содержание и источники углеводов в разнотипных водных объектах // *Экологическая химия*. 2017. Т. 26. № 4. С. 214–222.

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

11. Лозовик П.А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40. № 6. С. 583–592.

12. Зобков М.Б. Автоматизированная информационная система «Обработка гидрохимической информации и оценка состояния водных объектов» (АИС «ОГХИ») // Авторское свидетельство на программу для ЭВМ: Свидетельство о государственной регистрации: 2010612351. Дата публикации: 31.04.2010.

13. Аналитические, кинетические и расчётные методы в гидрохимической практике / Под ред. П.А. Лозовика, Н.А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.

14. Зобков М.Б., Зобкова М.В., Сабылина А.В., Ефремова Т.А. Оценка воздействия фильтрационных вод полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов и активных илов на качество воды малых рек гумидной зоны // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 4. С. 119–126.

15. Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2018 г. Петрозаводск: Министерство по природопользованию и экологии республики Карелия, 2018. 283 с.

16. Galakhina N.E., Zobkov M.B., Zobkova M.V. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal

changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations // *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. 2022. V. 17. Article No. 100619.

17. Лозовик П.А., Зобков М.Б., Бородулина Г.С., Токарев И.В. Оценка внешнего водообмена заливов озёр по химическим показателям воды // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. № 1. С. 91–101.

18. 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.

## References

1. Raymond D. Plankton and ocean productivity. Moskva: Legkaya i pishchevaya promyshlennost, 1983. P. 214–229 (in Russian).

2. Efremova T.A., Zobkova M.V. Content, distribution and ratio of the main components of organic matter in the water of Onego Lake // *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN. Limnology and Oceanology Series*. 2019. No. 9. P. 60–75 (in Russian). doi: 10.17076/lim1017

3. Mykkestad S.M., Borsheim K.V. Dynamic of carbohydrates in the Norwegian Sea inferred from monthly profiles collected during 3 years at 66°N, 2°E // *Mar. Chem.* 2007. V. 107. No. 4. P. 475–485. doi: 10.1016/j.marchem.2007.09.002

4. Vernadskiy V.I. The chemical structure of the Earth's biosphere and its surroundings. Moskva: Nauka, 1965. 326 p. (in Russian).

5. Orlov D.S. Soil humic acids and the general theory of humification. Moskva: MGU, 1990. 325 p. (in Russian).

6. Shaova L.G. Self-purification of natural waters from reducing sugars: Dissertation of candidate of chemical sciences. Novochoerkassk, 1971. 186 p. (in Russian).

7. He Z., Wang Q., Yang G.P., Gao X.C., Wu G.W. Spatiotemporal variation characteristics and related affecting factors of dissolved carbohydrates in the East China Sea // *Continental Shelf Research*. 2015. V. 108. P. 12–24. doi: 10.1016/j.csr.2015.08.002

8. Belyaeva A.N. Molecular composition of organic matter in the ocean // *New Ideas in Oceanology*. Moskva: Nauka, 2004. V. 2. P. 325–350 (in Russian).

9. Linnik P.N., Zhezherya V.A., Linnik R.P. The role of the neutral fraction of dissolved organic matters in the migration of metals in surface waters: Content and sources of carbohydrates in different types of water bodies // *Ekologicheskaya khimiya*. 2017. V. 26. No. 4. P. 214–222 (in Russian).

10. Agatova A.I. Organic matter in the seas of Russia. Moskva: Izdatel'stvo VNIRO, 2017. 260 p. (in Russian).

11. Lozovik P.A. Geochemical classification of surface waters of the humid zone based on their acid-base balance // *Vodnye Resursy*. 2013. V. 40. No. 6. P. 583–592 (in Russian).



12. Zobkov M.B. Copyright certificate for the computer program: Automatic information system Hydrochemical data processing and water objects condition assessment (AIS "OGHI"). Certificate of registration: 2010612351. Date of publication: 31.04.2010 (in Russian).

13. Analytical, kinetic and calculation methods in hydrochemical practice. Sankt Peterburg: Nestor-Istoriya, 2017. 272 p. (in Russian).

14. Zobkov M.B., Zobkova M.V., Sabylina A.V., Efremova T.A. Assessing the impact of seepage waters of landfills for solid domestic waste and activated sludge on the water quality of small rivers in the humid zone // Theoretical and Applied Ecology. 2021. No. 4. P. 119–126 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-119-126

15. State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2018. Petrozavodsk: Ministerstvo po

pririodopolzovaniyu i ekologii respubliky Kareliya, 2018. 283 p. (in Russian).

16. Galakhina N.E., Zobkov M.B., Zobkova M.V. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations // Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management. 2022. V. 17. Article No. 100619. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100619

17. Lozovik P.A., Zobkov M.B., Borodulina G.S., Tokarev I.V. Evaluation of external water exchange in lake bays by chemical indicators of water // Vodnye resursy. 2019. V. 46. No. 1. P. 91–101 (in Russian). doi: 10.31857/S0321-059646191-101

18. Zobkova M.V., Efremova T.A., Lozovik P.A., Sabylina A.V. Organic matter and its components in surface waters humid zone // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. No. 12. P. 115–120 (in Russian).