

УДК 556.531.4 (282.247.32)

*П. Н. Линник, Я. С. Иванечко***РАСТВОРЕННЫЕ УГЛЕВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ УКРАИНЫ**

Обсуждаются результаты исследований содержания и сезонного распределения растворенных углеводов в поверхностных водных объектах разного типа (озера, реки, водохранилища). Показано, что концентрация органических соединений этой группы находится в широком интервале величин — от 0,4 до 4,9 мг/дм³ (в пересчете на содержание глюкозы) в зависимости от типа водного объекта и его трофического статуса. Наибольшая концентрация углеводов была обнаружена в Тернопольском водохранилище на р. Серет (в черте г. Тернополя) и во втором Китаевском пруду (в черте г. Киева). Относительное содержание углеводов, по среднегодовым показателям, составляет от 4,7 до 16,4% общего содержания углерода растворенных органических веществ ($C_{орг}$). Приведены также данные о содержании этих органических веществ в разнотипных водных объектах других регионов мира. В исследованных водных объектах углеводы представлены соединениями с широким интервалом молекулярной массы — от < 1,0 до > 70,0 кДа. Однако в их составе доминируют высокомолекулярные соединения (полисахариды). Их доля составляет в среднем 67,7—83,7% общего содержания растворенных углеводов. Рассматриваются сезонные вариации содержания низкомолекулярной фракции углеводов (< 1,0 кДа).

Ключевые слова: *растворенные углеводы, полисахариды, моносахариды, молекулярно-массовое распределение, озера, реки, водохранилища.*

Среди широкого разнообразия растворенных органических веществ (РОВ) поверхностных вод суши важное место занимают углеводы. К ним относятся свободные редуцирующие сахара, представляющие собой смесь моносахаридов, ди- и трисахаридов и их производных, а также более сложные углеводы, в частности олигосахариды, полисахариды и углеводоподобные соединения, в которых они входят в состав сложных комплексов с другими классами веществ [3, 28]. Большинство моносахаридов содержат в своем составе от 5 до 6 атомов углерода и называются соответственно пентозами и гексозами. Дисахариды состоят из двух молекул моносахаридов. К ним обычно относятся сахароза, лактоза и мальтоза. Примером трисахаридов являются раффиноза и мальтотриоза. Олигосахариды включают от 3 до 20 моносахаридных остатков, соединенных гликозидными связями. Полисахариды, по разным оценкам, могут содержать в своем составе до 10 000 сахаридных остатков, связанных между собой, и представляются как широко разветвленные структуры [28].

© П. Н. Линник, Я. С. Иванечко, 2014

Основным источником поступления углеводов в поверхностные водоемы и водотоки являются прижизненные их выделения водными организмами, разложение остатков отмерших организмов и микробиологический гидролиз полисахаридов слизевых образований [17, 20]. Значительное количество растворенных углеводов поступает в водные объекты с поверхностным стоком после их вымывания из почв и торфяников, с атмосферными осадками, а также со сточными водами дрожжевых, пивоваренных, сахарных, целлюлозно-бумажных и других производств [3, 13].

Очень часто водоросли рассматриваются как мощный источник поступления углеводов, так как в их составе они содержатся в большом качественном наборе и в максимальном количестве. Особенно это характерно для пресных поверхностных водоемов, которые «цветут» отдельными видами синезеленых, диатомовых или зеленых водорослей [14]. Считается, что мономерные и сложные углеводы являются основными компонентами выделений фитопланктона и составляют обычно 20—90% внеклеточно выделяемых им РОВ [20].

Соотношение между содержанием свободных редуцирующих сахаров и сложных углеводов постоянно меняется в зависимости от интенсивности фотосинтеза, потребления их бактериями под воздействием ферментов, а также температуры и рН среды [3, 13].

Среди полисахаридов в значительном количестве содержатся разнообразные растворимые и физиологически активные компоненты [18]. Полисахариды, выделяемые водорослями, претерпевают трансформацию в водной среде под действием внеклеточных ферментов водорослей и бактерий, в результате чего образуются простые углеводы. В дальнейшем некоторая их часть ассимилируется гидробионтами, в частности бактериями и водорослями, а остальная подвергается биологическому и химическому окислению [15].

Биологическая роль углеводов чрезвычайно многообразна. Моносахариды являются первичными продуктами фотосинтеза растений и служат исходными соединениями для биосинтеза гликозидов и полисахаридов, а также других классов веществ, в частности аминокислот, жирных кислот, фенолов и др. Как основной структурный и энергетический биополимер клеток водорослей углеводы играют важную роль в формировании бактерио- и альгоценозов, а также определяют их функциональную активность и видовое разнообразие.

В речных водах содержание свободных редуцирующих сахаров и полисахаридов в пересчете на глюкозу составляет соответственно 0,1—0,6 и 0,25—1,0 мг/дм³, причем концентрация этих двух групп веществ выражается величинами примерно одного порядка, а в некоторых случаях редуцирующие сахара даже преобладают [16]. В водохранилищах концентрации указанных углеводов находятся в пределах соответственно 0,1—0,4 и 0,2—0,3 мг/дм³. Намного шире пределы колебаний содержания редуцирующих сахаров и полисахаридов в озерных водах — 0,08—6,5 и 0,14—6,9 мг/дм³ [3, 13]. Имеются также сведения о более высоком содержании растворенных

углеводов в отдельных водных объектах, в частности в р. Юкон (США), эстуариях Перл (США) и Кочин (юго-запад Индии), а также в эвтрофных озерах [22, 23, 28, 41].

Сезонные флуктуации концентрации углеводов в поверхностных водах имеют весьма сложный характер и регулируются рядом одновременно протекающих процессов (развитие и распад фитопланктона, жизнедеятельность бактерий, поступление терригенных веществ и т. д.) [13]. Наблюдается довольно четкая корреляция между содержанием углеводов в воде и интенсивностью развития фитопланктона. Увеличение уровня «цветения» воды сопровождается возрастанием концентрации внеклеточных углеводов [15]. В местах ветровых нагонов фитопланктона происходит массовый автолиз клеток колоний основных возбудителей «цветения», сопровождающийся резким увеличением содержания углеводов в воде. Так, например, летом 1975 г. в воде Тясминского залива Кременчугского водохранилища в условиях обильного «цветения» концентрация углеводов достигала 11—190 мг/дм³ [18].

Углеводы оказывают разнообразное влияние на формирование качества поверхностных вод. С одной стороны, они являются полезным субстратом для питания бактерий, грибов, дрожжей, актиномицетов, развитие которых важно для процессов самоочищения водной среды, а с другой — усиливают биологическое и химическое загрязнение воды за счет клеток микроорганизмов и их метаболитов. Углеводы, как белки и полипептиды, участвуют в связывании металлов, снижая этим самым их реакционную способность, химическую и биологическую активность [26, 30].

В настоящей работе обобщены результаты исследований углеводов в поверхностных водных объектах разного типа, находящихся в различных физико-географических зонах Украины.

Материал и методика исследований. Объектами исследований были разнотипные водные объекты, в частности озера Шацкой группы Люцимир и Большое Черное, реки Десна (устье), Рось (вблизи г. Белой Церкви), Южный Буг (вблизи г. Хмельницкого), Серет (выше и ниже Тернопольского водохранилища), водохранилища Каневское (верхний участок в черте г. Киева) и Тернопольское на р. Серет, а также второй Китаевский пруд (г. Киев).

Пробы воды отбирали главным образом с поверхностного горизонта на глубине ~ 0,5 м и в максимально короткие сроки доставляли в лабораторию для дальнейших исследований. Взвешенные вещества отделяли мембранной фильтрацией проб воды под давлением около 2 атм. Для этого использовали мембранные фильтры Synproг (Чехия) с диаметром пор 0,4 мкм. Все исследования проводили с фильтратами природных вод. Поскольку прямое определение углеводов в пробах поверхностных вод затруднено из-за мешающего влияния других органических веществ, в частности гумусовых веществ (ГВ), применяли ионообменную хроматографию для их отделения. С этой целью фильтраты воды последовательно пропускали через две стеклянные колонки, первая из которых была заполнена анионитом ДЭАЭ (диэтиламиноэтилцеллюлоза), а вторая — катионитом КМ (карбоксиметилцеллюлоза). В резу-

льтате РОВ природной воды были разделены на три группы: кислотную, содержащую главным образом ГВ, основную, в которой доминировали белковоподобные вещества, и нейтральную, с преимущественным нахождением в ней углеводов. Все наши дальнейшие исследования были сосредоточены на нейтральной группе РОВ. Определение концентрации растворенных углеводов в составе указанной группы проводили сразу же после разделения РОВ на колонках с целлюлозными ионитами. Содержание этих органических соединений устанавливали также путем суммирования их концентраций во фракциях после гель-хроматографического разделения. Последнее использовали для исследования молекулярно-массового распределения углеводов. Применяли стеклянную колонку, заполненную гелем HW-55F (Япония) и предварительно откалиброванную с помощью веществ с известной молекулярной массой — полиэтиленгликолей (1,0, 2,0, 15,0 и 20,0 кДа), декстрана (70,0 кДа) и глюкозы (0,18 кДа). Параметры колонки: длина — 81,0 см, диаметр — 2,8 см, высота столбика геля — 60,5 см, свободный объем (V_0) — 138 см³, общий объем V_t — 375 см³.

При проведении гель-хроматографических исследований через колонку пропускали концентраты нейтральной группы РОВ, полученные после вымораживания [5]. Степень концентрирования составляла 10—12 раз. Концентрирование обеспечивало надежность определения концентрации углеводов в каждой из фракций после гель-хроматографического их разделения по молекулярной массе, так как в процессе элюирования всегда происходит разбавление. В качестве элюента использовали 0,025 моль/дм³ фосфатный буферный раствор с рН 7,0.

Определение концентрации углеводов проводили фотометрическим методом в сильнокислой среде с использованием антронового реагента [13]. Для построения калибровочного графика использовали раствор глюкозы. Соответственно, содержание растворенных углеводов в воде исследованных водных объектов выражено в пересчете на глюкозу.

Концентрацию растворенного углерода органических соединений ($C_{орг}$) рассчитывали, исходя из величин бихроматной окисляемости (БО) воды, по формуле: $C_{орг} = 0,375БО$ [13].

Результаты исследований и их обсуждение

В таблице 1 приведены данные о содержании растворенных углеводов в исследованных водных объектах. Наибольшие концентрации органических соединений этой группы (4,5 и 4,9 мг/дм³) выявлены в воде Тернопольского водохранилища и второго Китаевского пруда, что связано с активным развитием фитопланктона в этих водоемах. В остальных водных объектах содержание углеводов мало отличается. Меньшие значения их концентрации отмечены для речных вод. Это касается, прежде всего, верхнего участка р. Южный Буг и р. Серет. Среднее содержание углеводов в исследованных объектах составляло 0,9 и 2,5 мг/дм³. Углеводы занимают второе место в составе РОВ поверхностных вод после ГВ как наиболее распространенной группы органических соединений [20, 30]. В этом убеждают проведенные нами расчеты их относительного содержания по отношению к $C_{орг}$, которое

варьирует в среднем от 4,7 до 16,4%. Имеются сведения, что в речных водах углеводы составляют в среднем около 10%, а в озерных — 20,0—24,5% $C_{\text{орг}}$ [6, 20, 21, 26]. В нижнем течении рек и в эстуариях доля углеводов в общем содержании РОВ выше. Так, в нижнем течении р. Миссисипи (США) она составляет 17—31% (в среднем 24% $C_{\text{орг}}$) [41]. Примерно такое же содержание углеводов ($24 \pm 2\%$ $C_{\text{орг}}$) обнаружено и в р. Юкон (США) [23, 26]. В высокопродуктивных озерах относительное содержание углеводов может достигать 50% $C_{\text{орг}}$ и более [27]. В то же время в озерных водах с высоким содержанием ГВ доля углеводов не превышает 4,5% $C_{\text{орг}}$ [20]. В водохранилищах Днепровского каскада, как было установлено нами ранее [40], растворенные углеводы составляют 2,8—10,1% общего содержания РОВ. Полученные нами данные для водных объектов, указанных в таблице 1, не противоречат приведенным выше.

Для более полного представления о содержании углеводов в поверхностных водных объектах разного типа нами обобщены некоторые литературные данные по этой группе органических соединений, которые приведены в таблице 2. Они охватывают речные и озерные воды из различных регионов мира, воды водохранилищ, эстуариев и морских заливов (в основном это прибрежные воды). Можно видеть, что концентрация углеводов в воде упомянутых объектов находится в довольно широком интервале величин — от нескольких десятых миллиграмма до десятков миллиграммов в 1 дм³. Это зависит от влияния множества факторов, однако можно полагать, что первостепенную роль играет степень трофности водного объекта и его подверженность антропогенному воздействию. Например, в эвтрофных водоемах концентрации растворенных углеводов значительно выше, чем в олиготрофных и мезотрофных. Низкое содержание углеводов установлено для озерных вод Финляндии и Швеции из-за высоких концентраций в них ГВ. В то же время в воде рек бассейна Припяти (Украина), несмотря на высокую ее цветность, содержание углеводов было намного выше (см. табл. 2). На наш взгляд, высокими показателями содержания углеводов отличаются воды некоторых рек и эстуариев, например рек Перл и Юкон (США), озера Плюсее (Германия), эстуария Кочин (юго-запад Индии) и др.

Следует остановиться и на некоторых методических аспектах определения концентрации углеводов в пробах поверхностных вод. Как было установлено нами, а также авторами работы [6], прямое определение содержания углеводов в фильтрованной воде может привести к получению завышенных результатов, особенно если это касается вод с повышенным содержанием ГВ. Это связано с тем, что ГВ являются продуктами конденсации лигнина и углеводов. В процессе кислотного гидролиза происходит высвобождение последних, в результате чего данные о содержании углеводов существенно выше тех, которые были получены в отсутствие ГВ после их адсорбции на колонке с ДЭАЭ-целлюлозой. Это говорит о том, что ГВ необходимо выделять из воды перед анализом углеводов.

В большинстве научных работ приводятся сведения не только об общем содержании растворенных углеводов, но и их составляющих — моносахаридов и полисахаридов. Во многих из них [21, 29, 33, 39, 42] показано, что доминируют последние, и их концентрация в 3, а иногда и в 6—8 раз выше,

1. Содержание растворенных углеводов в некоторых водных объектах Украины по результатам исследований 2010—2012 гг.

Водные объекты	Углеводы		% C _{орг}
	мг/дм ³	мкмоль С/дм ³	
оз. Люцимир	0,7 – 3,5	2,3 – 116,7	2,2 – 17,3
	1,5	50,0	5,2
оз. Большое Черное	0,7 – 3,2	23,3 – 106,7	2,7 – 13,2
	1,3	43,3	5,6
р. Десна, устье	0,4 – 3,1	13,3 – 103,3	1,4 – 13,4
	1,6	53,3	7,8
р. Рось, г. Белая Церковь	0,7 – 3,0	23,3 – 100,0	3,9 – 19,8
	1,8	60,0	9,1
р. Южный Буг, г. Хмельницкий	0,5 – 1,4	16,7 – 46,7	3,6 – 9,5
	0,9	30,0	5,8
р. Серет, выше Тернопольского водохранилища	0,4 – 2,3	13,3 – 76,7	5,2 – 22,1
	1,1	36,7	14,3
р. Серет, ниже Тернопольского водохранилища	0,5 – 2,1	16,7 – 70,0	4,3 – 17,7
	1,0	33,3	8,4
Каневское водохранилище, верхняя часть, рук. Десенка	0,8 – 1,7	26,7 – 56,7	2,6 – 7,2
	1,1	36,7	4,7
Тернопольское водохранилище, верховье	0,6 – 3,6	20,0 – 120,0	6,7 – 36,1
	1,6	53,3	16,4
Там же, приплотинный участок	0,9 – 4,5	30,0 – 150,0	6,5 – 21,2
	1,9	63,3	11,6
Второй Китаевский пруд, г. Киев	11,1 – 4,9	36,7 – 163,3	5,8 – 16,3
	2,5	83,3	10,7

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: над чертой — пределы колебаний, под чертой — средние значения.

чем содержание моносахаридов. В работах А. Д. Семенова [16] неоднократно отмечалось, что концентрации свободных редуцирующих сахаров и полисахаридов в поверхностных водах примерно соизмеримы (см. табл. 2). В то же время, в некоторых работах отмечено, что в составе растворенных углеводов доминировали моносахариды [9, 23, 26, 38]. Например, в устье Дунайская их средняя концентрация составляла 1,24 мг/дм³ против 0,45 мг/дм³ полисахаридов [9]. По-видимому, в этих данных особых противоречий не существует. Соотношение между отдельными фракциями углеводов в природной воде в значительной степени зависит от воздействия факторов среды, прежде всего от увеличения температуры воды, интенсивности фотохимических реакций, скорости ферментативного гидролиза полисахаридов и усвоения моносахаридов водорослями и бактериопланктоном [29, 38]. В

2. Содержание растворенных углеводов в разнотипных водных объектах (в пересчете на содержание глюкозы)

Водные объекты	Углеводы		Литература
	мг/дм ³	мкмоль С/дм ³	
Озера			
Озера Российской Федерации (РФ)	0,08—6,50*	2,7—216,7*	[5, 13, 16]
	0,14—6,90**	4,7—230,0**	
Олиготрофные озера Карелии (РФ)	$\frac{0,11 - 1,80}{1,20}$	$\frac{3,7 - 60,0}{40,0}$	[6]
Мезотрофные озера Карелии (РФ)	$\frac{0,5 - 2,0}{1,2}$	$\frac{16,7 - 66,7}{40,0}$	[6]
Мезотрофное оз. Констанца (ФРГ)	0,04—0,11	1,2—3,6	[27]
Эвтрофные озера из различных регионов мира, в том числе оз. Плюсеее (ФРГ)	0,03—32,25 4,7—32,25	1,0—1075,0 156,7—1075,0	[21, 28, 39] [21]
Эвтрофные озера Карелии (РФ)	$\frac{0,8 - \leq 10,0}{1,3}$	$\frac{26,7 - \leq 333,3}{43,3}$	[6, 7]
Курильское, п-ов Камчатка (РФ)	0,7—2,6	23,2—86,7	[8]
Азабачье, правобережье р. Камчатка (РФ)	0,2—4,2	6,7—140,0	[8]
Озера, обогащенные гумусовыми веществами (Швеция, Финляндия)	0,002—0,20	0,06—6,6	[28]
Озера г. Киева (Украина)			
Тельбин	$\frac{0,74 - 3,95}{2,4}$	$\frac{24,7 - 131,7}{80,0}$	[4]
Вербное			
поверхностный слой	$\frac{0,90 - 4,46}{2,10}$	$\frac{30,0 - 148,7}{70,0}$	[2]
придонный слой	$\frac{1,40 - 3,45}{2,30}$	$\frac{46,7 - 115,0}{76,7}$	
Центральное	$\frac{1,4 - 2,9}{2,0}$	$\frac{46,7 - 96,7}{66,7}$	[12]
Реки			
Волга, Дон, Обь, Иртыш, Нева, Москва (РФ)	0,08—1,50*	2,7—50,0*	[5, 16]
	0,34—1,74**	11,3—58,0**	

Продолжение табл. 2

Водные объекты	Углеводы		Литература
	мг/дм ³	мкмоль С/дм ³	
Некоторые реки Европы	0,58—6,20	19,3—206,7	[39]
Бассейн р. Припяти (Украина), 2010 г.	1,4 – 3,9	46,7 – 130,0	[11]
	2,3	76,7	
Дельта р. Дунай, Сулина (Румыния)	0,09—0,276	3,0—9,2	[28]
Лена (РФ)	0,19 – 0,47	6,3 – 15,7	[34]
	0,30	10,0	
Макензи (США)	0,52 – 1,54	17,3 – 51,3	[27, 39]
	1,10	36,7	
Миссисипи, низовье (США)	1,53 – 3,18	51,0 – 106,0	[41]
	2,13 ± 0,36	70,8 ± 11,7	
Перл, низовье (США)	2,25 – 7,14	75,0 – 238,0	[41]
	3,93 ± 1,35	131,0 ± 45,0	
Юкон (США)	3,87—21,66	129,0—722,0	[23]
	2,76—14,79*	92,0—493,0*	
	0,78—6,87**	26,0—229,0**	
Тринити, Техас (США)	1,07 – 4,66	35,6 – 155,4	[26]
	2,70	90,0	
	0,88 – 3,97 *	29,3 – 132,2 *	
	2,42	80,7	
	0,08 – 0,70 **	2,7 – 23,2 **	
Рона (Франция)	0,03 – 0,09	1,0 – 3,1	[32]
	0,045 ± 0,016	1,5 ± 0,53	
Реки Индии	0,14—3,05	4,7—101,7	[39]
Водохранилища			
Цимлянское, Волгоградское, Рыбинское, Дубоссарское, Братское, Киевское, Днепродзержинское, Каховское (РФ, Молдова, Украина)	0,13—3,05*	4,3—101,7*	[5, 16]
	0,13—1,88**	4,3—62,7**	
Днепровского каскада (Украина)	0,52 – 3,10	17,3 – 103,3	[1, 4, 40]
	1,90	63,3	

Продолжение табл. 2

Водные объекты	Углеводы		Литература
	мг/дм ³	мкмоль С/дм ³	
Каневское, верхний участок	<u>1,5 – 2,8</u>	<u>50,0 – 93,3</u>	[10]
	2,1	70,0	
Кременчугское	<u>0,32 – 1,59</u>	<u>10,7 – 53,0</u>	[4, 40]
	1,17	39,0	
Каховское	<u>0,33 – 1,67</u>	<u>11,0 – 55,7</u>	[4, 40]
	1,11	37,0	
Лобо (Бразилия)	<u>0,26 – 1,74</u>	<u>8,7 – 58,0</u>	[39]
	<u>0,89 ± 0,39</u>	<u>29,7 ± 13,0</u>	
	<u>0,07 – 0,36 *</u>	<u>2,3 – 12,0 *</u>	
	<u>0,24 ± 0,07</u>	<u>8,0 ± 2,3</u>	
	<u>0,13 – 1,55 **</u>	<u>4,3 – 51,7 **</u>	
	<u>0,66 ± 0,38</u>	<u>22,0 ± 12,7</u>	
Эстуарии			
Кочин (юго-западная Индия)	0,66—9,45	22,0—315,0	[22]
Перл (Китай)	<u>0,45 – 3,99</u>	<u>15,0 – 133,0</u>	[24]
	1,45	48,3	
	<u>0,18 – 2,10 *</u>	<u>6,0 – 70,0 *</u>	
	0,88	29,2	
	<u>0,11 – 1,89 **</u>	<u>3,6 – 63,0 *</u>	
Мандови (Индия)	0,50	16,7	[29]
	<u>0,53 – 2,02</u>	<u>17,7 – 67,3</u>	
	1,18	39,2	
	<u>0,12 – 0,47 *</u>	<u>4,2 – 15,8 *</u>	
	<u>0,23 ± 0,05</u>	<u>7,6 ± 1,8</u>	
	<u>0,27 – 1,86 **</u>	<u>9,1 – 62,0 **</u>	
	<u>0,92 ± 0,29</u>	<u>30,8 ± 9,5</u>	
Прибрежные воды морских заливов			
Цзяочжоу, Желтое море (Китай)	<u>0,41 – 0,61</u>	<u>13,5 – 20,3</u>	[31]
	<u>0,53 ± 0,075</u>	<u>17,7 ± 2,5</u>	
	<u>0,23 – 0,48 *</u>	<u>7,6 – 15,9 *</u>	
	<u>0,33 ± 0,096</u>	<u>10,9 ± 3,2</u>	
	<u>0,13 – 0,29 **</u>	<u>4,4 – 9,5 **</u>	
	<u>0,20 ± 0,066</u>	<u>6,8 ± 2,2</u>	
	0,44—0,91	14,7—30,3	

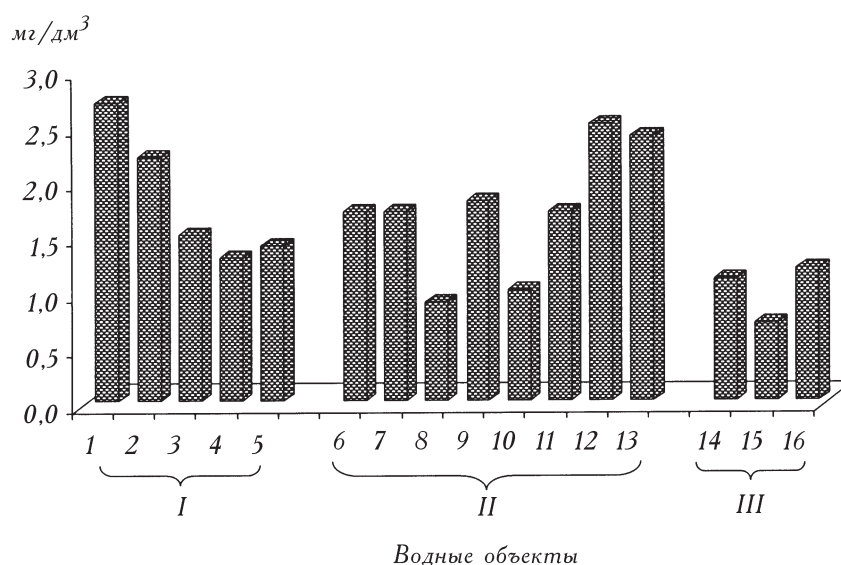
Продолжение табл. 2

Водные объекты	Углеводы		Литература
	мг/дм ³	мкмоль С/дм ³	
	0,06—0,55*	1,98—18,18*	
	0,15—0,75**	5,04—24,90**	
Сент-Луис (США)	$\frac{1,53 - 2,25}{1,80 \pm 0,30}$	$\frac{51,0 - 75,0}{60,0 \pm 10,0}$	[41]
Чесапикский залив (США)	0,72—1,32	24,0—44,0	[38]
Мексиканский залив (США, Мексика)	0,12—0,66	4,0—22,0	[25]
Бенгальский залив (Бангладеш, Индия)	0,17—3,68	5,8—122,5	[35]
	Болотные воды		
Горное болото (Япония)	2,75—8,33	91,7—277,5	[37]
	$\frac{3,05 - 10,03}{5,38}$	$\frac{101,7 - 334,3}{179,3}$	[36]

*, ** Соответственно содержание свободных редуцирующих сахаров (в ряде случаев простых моносахаридов) и полисахаридов (сложных углеводов).

процессе активного выделения углеводов водорослями преобладают соединения с полимерной структурой [21], а в дальнейшем происходит их трансформация до более простых соединений — моносахаридов, и тогда соотношение между этими двумя фракциями будет меняться. Например, в воде Киевского водохранилища содержание свободных редуцирующих сахаров зимой составляло 34,0% общего содержания растворенных углеводов, а осенью оно возросло до 69,0% [40]. В воде р. Юкон увеличение концентрации моносахаридов наблюдалось с мая по сентябрь [23].

Физико-географическую зональность, вероятней всего, не следует рассматривать как один из ключевых факторов, влияющих на содержание углеводов в поверхностных водных объектах. В этом можно убедиться при оценке средних величин концентрации органических соединений этой группы в водных объектах из различных физико-географических зон (рис. 1). Наименьшие концентрации углеводов характерны для водных объектов степной зоны. В речных водах бассейна Припяти содержание углеводов довольно высокое, хотя они и отличаются повышенным содержанием ГВ. Считается, что в обогащенных ГВ водах развитие фитопланктона угнетается, а это, в свою очередь, отражается на концентрации углеводов, которая в таких водных объектах, как правило, низкая (см. табл. 2) [28]. Однако существует и другая точка зрения. Считается, что ГВ и углеводы являются главными составляющими торфа, образующегося в болотной среде, и в периоды паводков вымываются из него, поступая в реки с поверхностным стоком [11].

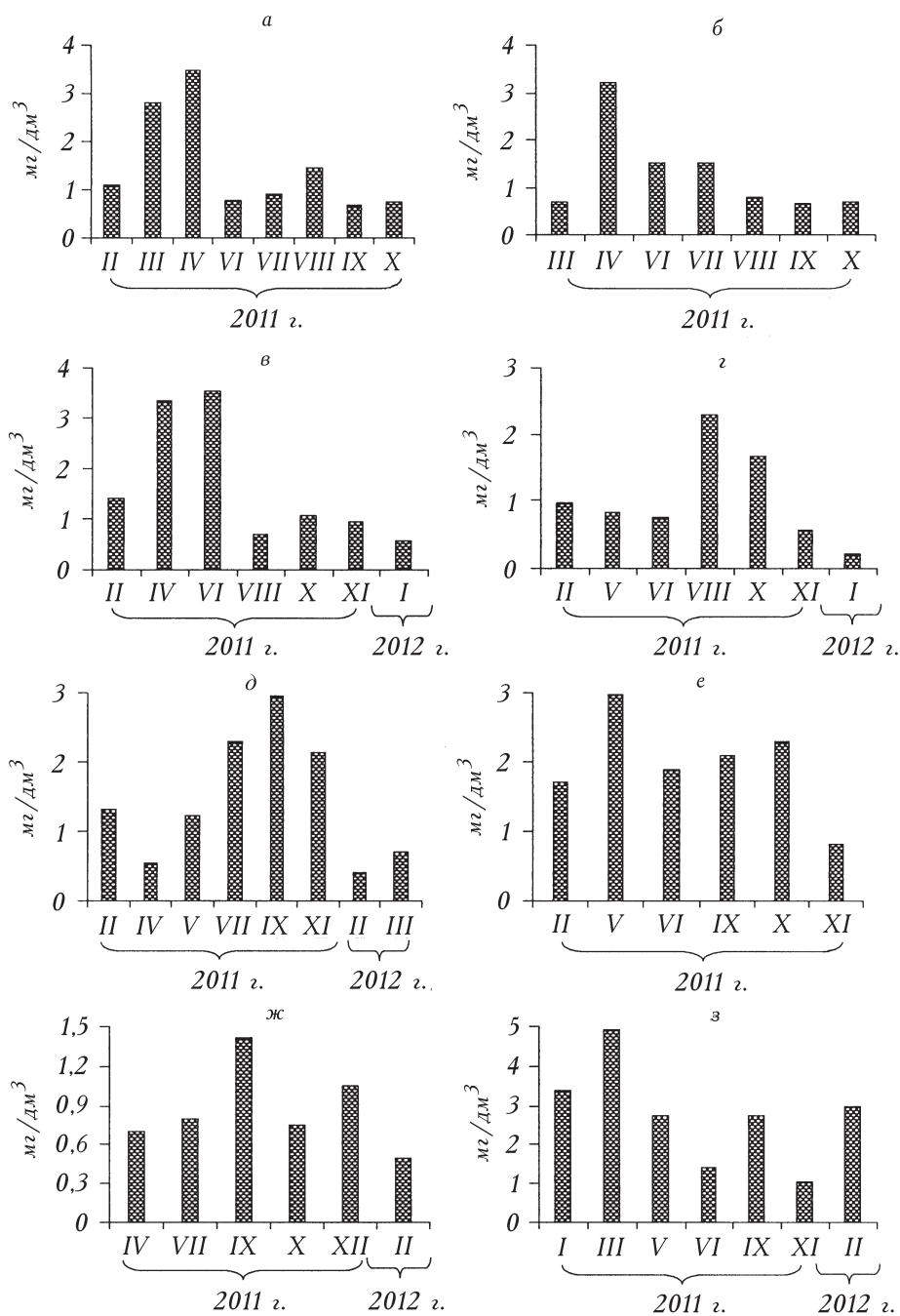


1. Средние величины содержания углеводов в поверхностных водных объектах Украины, находящихся в различных физико-географических зонах: I — зона смешанных лесов (1, 2 — реки Ствига, Припять, 3, 4 — озера Люцимир, Большое Черное, 5 — Киевское водохранилище); II — лесостепная зона (6 — Каневское водохранилище, 7—10 — реки Десна, Южный Буг, Рось, Серет, 11 — Тернопольское водохранилище, 12 — второй Китаевский пруд, 13 — оз. Тельбин); III — степная зона (14 — Каховское водохранилище, 15 — Килийская дельта Дуная, 16 — Сасыкское водохранилище).

Сезонные изменения концентрации углеводов в поверхностных водных объектах не всегда имеют четко выраженную направленность (рис. 2). В одних случаях максимальное содержание органических соединений этой группы наблюдается ранней весной и летом (озера Люцимир, Большое Черное, Тернопольское водохранилище), а в других — летом и ближе к осени (реки Серет, Десна). В некоторых водных объектах изменения концентрации углеводов не имеют определенной тенденции, а минимальные и максимальные величины их содержания чередуются (р. Южный Буг, второй Китаевский пруд). Подобную картину изменения концентрации растворенных углеводов отмечали и другие исследователи. Например, в водохранилище Лобо (Бразилия) максимумы содержания этих органических соединений наблюдались в июне, сентябре, ноябре (наибольший максимум) и в январе [39].

Такие сезонные изменения концентрации углеводов в поверхностных водах не являются неожиданностью, поскольку они выделяются многими организмами и в то же время утилизируются большим разнообразием организмов. Именно это и накладывает отпечаток на вариабельность содержания углеводов в течение года. При этом, как отмечается в ряде работ [28], флуктуации в большей степени характерны для моносахаридов как легкоусвояемых соединений.

Молекулярно-массовое распределение углеводов и соотношение их различных фракций. Фракционирование углеводов по молекулярной массе по-



2. Сезонные изменения концентрации растворенных углеводов в воде озер Люцимир (а) и Большое Черное (б), Тернопольского водохранилища (в), рек Серет (г), Десна (д), Рось (е), Южный Буг (ж) и второго Китаевского пруда (з).

звояет оценить вклад отдельных фракций в их общий баланс и соотношение высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений, что также

3. Содержание различных по молекулярной массе фракций в составе растворенных углеводов в воде исследованных объектов

Водные объекты	Молекулярная масса фракций, кДа	Содержание фракций		
		мг/дм ³	мкмоль С/дм ³	%
оз. Люцимир	> 70,0	0,15 – 0,52	5,0 – 17,5	13,3 – 37,7
		0,34	11,7	20,2
	70,0—50,0	0,10 – 0,31	3,3 – 10,0	6,9 – 15,0
		0,19	6,7	10,7
	50,0—20,0	0,13 – 0,44	4,2 – 15,0	9,4 – 17,6
		0,25	8,3	13,7
	20,0—5,0	0,07 – 0,64	2,5 – 21,7	6,5 – 22,8
0,29		10,0	14,6	
5,0—1,0	0,06 – 0,52	1,7 – 17,5	5,6 – 16,6	
	0,26	8,3	12,7	
< 1,0	0,16 – 1,42	5,0 – 47,5	17,6 – 40,6	
	0,61	20,0	28,1	
оз. Большое Черное	> 70,0	0,06 – 0,35	1,4 – 11,7	9,2 – 23,3
		0,24	7,5	14,2
	70,0—50,0	0,08 – 0,25	2,5 – 8,3	9,5 – 16,6
		0,18	5,8	11,4
	50,0—20,0	0,13 – 0,46	4,2 – 15,0	14,4 – 19,7
		0,27	9,2	16,4
	20,0—5,0	0,15 – 0,60	5,0 – 20,0	17,1 – 22,8
0,33		10,8	19,5	
5,0—1,0	0,10 – 0,66	3,3 – 21,7	7,8 – 20,7	
	0,26	8,3	13,7	
< 1,0	0,14 – 0,91	5,0 – 30,0	20,9 – 28,5	
	0,45	15,0	24,8	
Тернопольское водохранилище	> 70,0	0,09 – 0,61	3,3 – 20,0	9,4 – 26,9
		0,36	11,7	18,5
	70,0—50,0	0,13 – 0,56	4,2 – 18,3	10,0 – 32,5
		0,30	10,0	16,6
	50,0—20,0	0,14 – 0,83	5,0 – 27,5	10,2 – 23,6
		0,35	11,7	17,2
20,0—5,0	0,06 – 0,50	1,7 – 16,7	6,1 – 14,2	
	0,24	8,3	9,9	
5,0—1,0	0,04 – 0,40	1,7 – 13,3	3,0 – 12,0	
	0,18	5,8	7,4	

Продолжение табл. 3

Водные объекты	Молекулярная масса фракций, кДа	Содержание фракций		
		мг/дм ³	мкмоль С/дм ³	%
Каневское водохранилище, рук. Десенка	< 1,0	0,11 – 1,13	3,3 – 37,5	10,0 – 45,4
		0,61	20,0	30,4
	> 70,0	0,02 – 0,21	0,7 – 7,0	2,4 – 14,3
		0,13	4,3	10,8
	70,0—50,0	0,07 – 0,38	2,3 – 12,7	8,7 – 48,4
		0,25	8,3	23,4
	50,0—20,0	0,07 – 0,33	2,3 – 11,0	8,6 – 36,8
		0,22	7,3	20,1
	20,0—5,0	0,02 – 0,18	0,7 – 6,0	2,1 – 10,9
		0,10	3,3	7,7
	5,0—1,0	0,02 – 0,08	0,7 – 2,7	2,1 – 11,8
		0,07	2,3	5,8
р. Десна, устье	< 1,0	0,03 – 0,49	1,0 – 16,3	3,3 – 62,7
		0,36	12,0	32,3
	> 70,0	0,10 – 0,30	3,3 – 10,0	4,7 – 29,9
		0,22	7,3	15,6
	70,0—50,0	0,17 – 0,51	5,7 – 17,0	9,7 – 23,8
		0,29	9,7	17,5
	50,0—20,0	0,13 – 1,01	4,3 – 33,7	16,8 – 34,2
		0,52	17,3	25,9
	20,0—5,0	0,06 – 0,57	2,0 – 19,0	7,9 – 22,2
		0,29	9,7	15,0
	5,0—1,0	0,09 – 0,30	3,0 – 10,0	8,0 – 11,2
		0,17	5,7	9,7
р. Рось, г. Белая Церковь	< 1,0	0,10 – 0,48	3,3 – 16,0	12,2 – 21,3
		0,31	10,3	16,3
	> 70,0	0,04 – 0,57	1,3 – 19,0	5,3 – 21,4
		0,33	11,0	15,1
	70,0—50,0	0,12 – 0,76	4,0 – 25,3	7,0 – 36,0
		0,35	11,7	17,7
	50,0—20,0	0,25 – 0,53	8,3 – 17,7	15,3 – 30,3
		0,37	12,3	19,8
	20,0—5,0	0,10 – 0,39	3,3 – 13,0	9,2 – 15,4
		0,25	8,3	12,7

Продолжение табл. 3

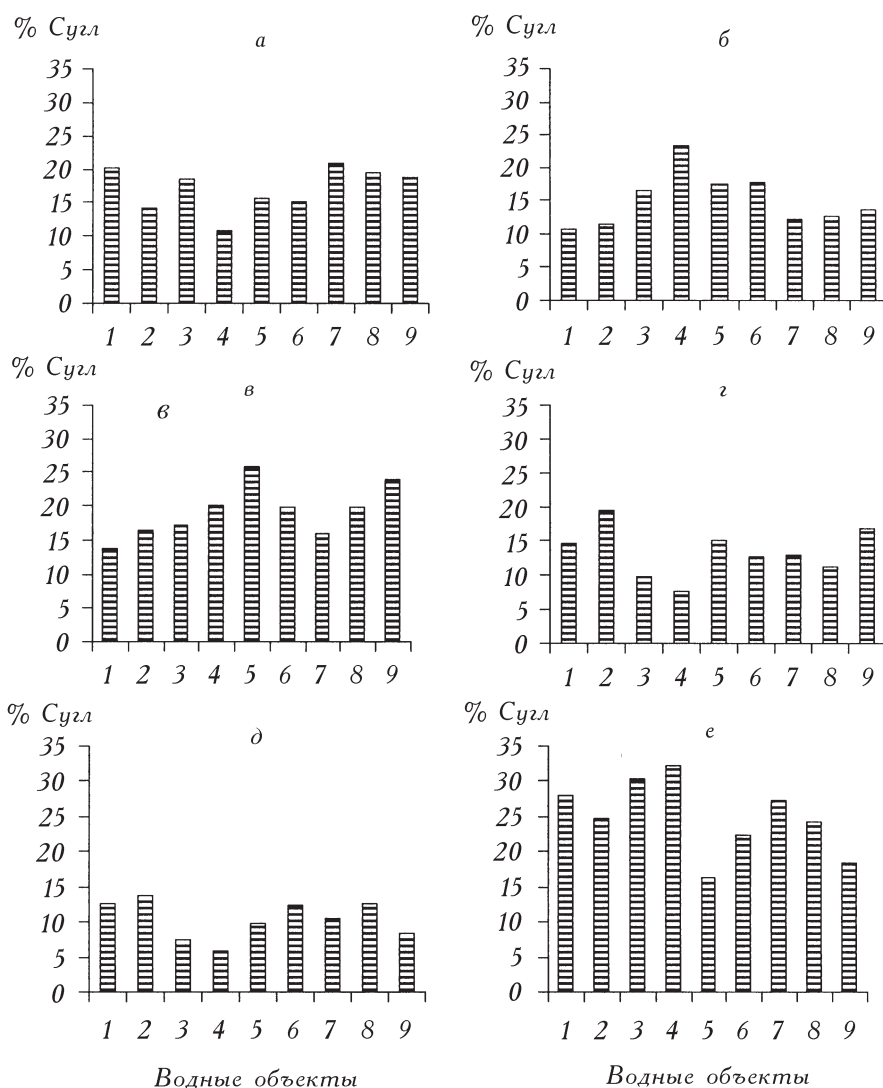
Водные объекты	Молекулярная масса фракций, кДа	Содержание фракций		
		мг/дм ³	мкмоль С/дм ³	%
Второй Китаевский пруд	5,0—1,0	0,12 – 0,34	4,0 – 11,3	6,7 – 19,9
		0,23	7,7	12,3
	< 1,0	0,16 – 0,89	5,3 – 29,7	9,2 – 30,0
		0,44	14,7	22,4
	> 70,0	0,14 – 2,17	4,7 – 72,3	8,7 – 44,2
		0,51	17,0	18,8
	70,0—50,0	0,15 – 0,42	5,0 – 14,0	3,1 – 18,6
		0,28	9,3	13,6
	50,0—20,0	0,24 – 0,98	8,0 – 32,7	9,4 – 41,2
		0,51	17,0	23,9
	20,0—5,0	0,15 – 1,09	5,0 – 36,3	11,8 – 32,4
		0,42	14,0	16,8
5,0—1,0	0,06 – 0,49	2,0 – 16,3	3,2 – 17,1	
	0,21	7,0	8,4	
< 1,0	0,03 – 1,05	1,0 – 35,0	1,4 – 36,2	
	0,49	16,3	18,5	

Примечание. Относительное содержание отдельных фракций углеводов выражено в % от общей концентрации в воде.

представляется весьма полезным для понимания их трансформации в природной водной среде.

Как показали результаты исследований, молекулярная масса углеводов в поверхностных водных объектах Украины находится в довольно широком интервале величин — от < 1,0 до > 70,0 кДа (табл. 3). Этого следовало ожидать, так как в процессе выделения фитопланктоном и высшей водной растительностью в водную среду поступают, прежде всего, полисахариды, подвергающиеся затем трансформации. В силу этих причин содержание отдельных фракций также претерпевает сезонные изменения.

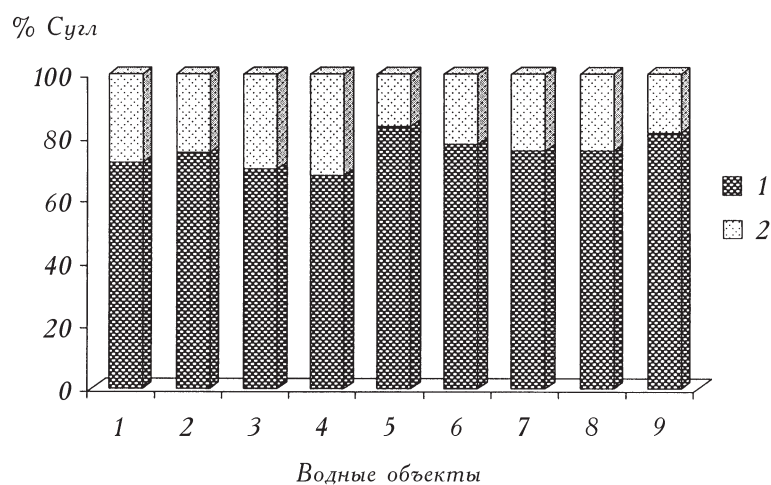
В принятой нами градации фракций преобладают высокомолекулярные соединения, то есть полисахариды (рис. 3). Так, среднегодовое содержание фракций с молекулярной массой > 70,0 кДа составляет 10,8—20,9%, 70,0—50,0 кДа — 10,7—23,4, 50,0—20,0 кДа — 13,7—25,9, 20,0—5,0 кДа — 7,7—19,5, 5,0—1,0 кДа — 5,8—13,7% общей концентрации растворенных углеводов ($C_{\text{угл}}$). Доля фракции низкомолекулярных углеводов (< 1,0 кДа) оказалась в пределах 16,3—32,3%. Несмотря на то, что целенаправленное разделение углеводов на полисахариды и моносахариды нами не проводилось, можно с уверенностью считать, что именно в этой фракции содержатся простые сахара — моносахариды и дисахариды.



3. Среднегодовое содержание отдельных фракций углеводов (их доля в общей концентрации, %) в воде исследованных объектов. Здесь и на рис. 4: 1 — оз. Люцимир; 2 — оз. Большое Черное; 3 — Тернопольское водохранилище, рукав Десенка; 4 — Каневское водохранилище, рукав Десенка; 5—8 — реки Десна, Рось, Южный Буг, Серет; 9 — второй Китаевский пруд. Молекулярная масса фракций углеводов (кДа): а — > 70,0, б — 70,0—50,0, в — 50,0—20,0, г — 20,0—5,0, д — 5,0—1,0, е — < 1,0.

Принимая во внимания значение молекулярной массы отдельных фракций углеводов и суммируя их, можно убедиться, что преобладающая часть этих органических соединений представлена полисахаридами, составляющими от 67,7 до 83,7% (рис. 4).

Широкий интервал молекулярной массы углеводов характерен для этих органических соединений, поскольку они имеют полимерную структуру.

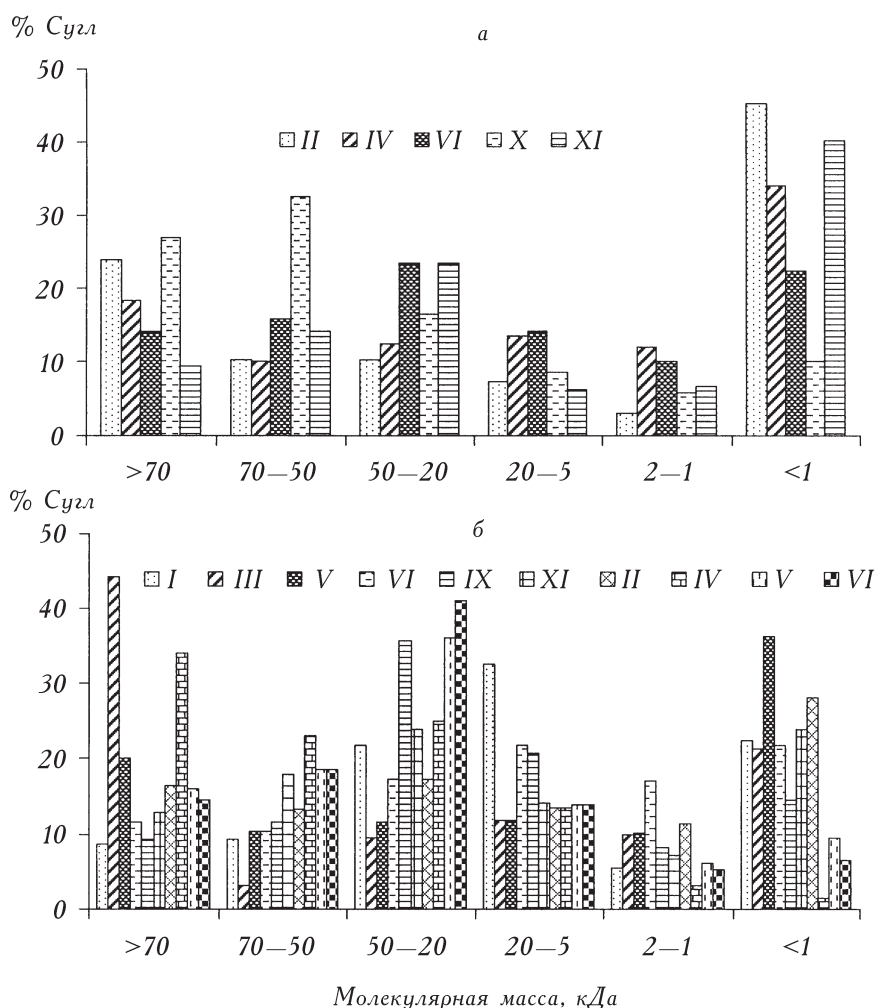


4. Соотношение различных фракций углеводов (1 — полисахариды, 2 — моносахариды) в воде исследованных объектов.

Например, было установлено, что в продуктах бактериальной деградации зеленых водорослей углеводы характеризовались диапазоном молекулярной массы от 0,7 до 200,0 кДа [19]. В болотах около 15% растворенного органического углерода представлено углеводами с молекулярной массой > 100 кДа [37].

Большая часть низкомолекулярных углеводов (свободных редуцирующих сахаров) образуется летом в условиях повышения температуры воды, микробиологической активности и усиления фотохимических процессов. Однако необходимо учитывать и то, что низкомолекулярная фракция углеводов является легкоусвояемой и достаточно быстро ассимилируется водорослями и бактериями [21, 28, 39]. Это можно проследить на примере Тернопольского водохранилища и второго Китаевского пруда (рис. 5). В Тернопольском водохранилище снижение доли низкомолекулярной фракции углеводов заметно от зимы к лету и осени, с последующим ее повышением в конце осени, когда затухают гидробиологические процессы (см. рис. 5, а). Во втором Китаевском пруду, относящемся к эвтрофным водоемам, в течение 2011 г. не наблюдалось резкого изменения содержания указанной фракции, однако весной и летом 2012 г. доля низкомолекулярных соединений снизилась до минимальных значений (см. рис. 5, б). Способность бактерий к ассимиляции глюкозы широко используется в качестве индикатора микробиологической активности в природных водах [28].

Изменения относительного содержания высокомолекулярных фракций углеводов также имеют место, однако известно, что они в меньшей степени ассимилируются микрогетеротрофными организмами и перед усвоением должны быть разложены до простых углеводов с участием ферментов [21, 28].



5. Сезонные изменения содержания отдельных фракций углеводов в воде Тернопольского водохранилища (а, 2011 г.) и второго Китаевского пруда (б, 2011—2012 гг.). Римскими цифрами обозначены месяцы отбора проб воды.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что содержание растворенных углеводов в поверхностных водных объектах находится в широком диапазоне величин, составляя 0,4—4,9 мг/дм³. Наибольшие их концентрации (4,5 и 4,9 мг/дм³) отмечены в Тернопольском водохранилище и во втором Китаевском пруду, что связано, по-видимому, с интенсивным развитием фитопланктона в этих водоемах. По своему содержанию это вторая группа органических соединений после ГВ. В составе РОВ углеводы занимают в среднем от 4,7 до 16,4% $C_{орг}$. Широкий интервал концентраций углеводов объясняется существенным различием их содержания в разнотипных водных объектах. Концентрация

углеводов всецело зависит от интенсивности развития фитопланктона и высшей водной растительности как основных источников их поступления в водную среду. Поэтому можно полагать, что степень трофности водоема играет первостепенную роль в накоплении этих органических соединений в воде. Однако углеводы являются важной питательной средой для микрогетеротрофных организмов, поэтому активно усваиваются водорослями и микроорганизмами в процессе их жизнедеятельности. С активизацией процесса фотосинтеза в весенне-летний период концентрация углеводов в воде увеличивается, в то же время ассимиляция их гидробионтами приводит к снижению их содержания.

Характерным является то, что сезонные изменения концентрации углеводов в разных водных объектах не имеют общей, четко выраженной направленности. В одних объектах максимальное их содержание наблюдается в весенне-летний период, в других — ближе к концу лета и осенью, а в третьих происходит чередование повышения и снижения концентрации. Вероятней всего, это обусловлено влиянием ряда факторов водной среды. Существенное воздействие на содержание углеводов оказывает, очевидно, температура воды, микробиологическая активность, интенсивность протекания фотохимических процессов и некоторые другие.

В результате гель-хроматографических исследований установлено, что растворенные углеводы обладают широким интервалом молекулярной массы входящих в их состав соединений — от $< 1,0$ до $> 70,0$ кДа. Однако преобладают полисахариды, относительное содержание которых в общем балансе достигает в среднем 67,7—83,7%.

Соответственно, доля низкомолекулярных веществ ($< 1,0$ кДа) не превышает 16,3—32,3%. Чаще всего минимальное содержание этих соединений отмечается летом. Под влиянием процессов, протекающих в водной среде, происходит трансформация полисахаридов в простые сахара, в связи с чем следовало бы ожидать их накопления в воде. Однако не следует забывать, что в этот период они активно ассимилируются развивающимися гидробионтами. Если процесс ассимиляции превалирует, то вполне вероятно, что их концентрация будет снижаться до минимума. В некоторых водных объектах содержание низкомолекулярных соединений в отдельные сезоны года существенно возрастает. Так, в воде Тернопольского водохранилища в осенне-зимний период доля веществ с молекулярной массой $< 1,0$ кДа составляла 40,1—45,4% $C_{\text{угл}}$. Высокое относительное содержание низкомолекулярной фракции углеводов (62,7% $C_{\text{угл}}$) обнаружено в рукаве Десенка (верхняя часть Каневского водохранилища) в начале апреля. Это может быть свидетельством того, что в холодный период года низкомолекулярные углеводы потребляются водными организмами в меньшей степени и в силу этих причин накапливаются в водной среде. Иногда летом их концентрация становится настолько низкой, что они практически не обнаруживаются в воде.

**

Обговорюються результати досліджень вмісту та сезонного розподілу розчинених вуглеводів у поверхневих водних об'єктах різного типу (озера, річки, водосховища). Показано, що концентрація органічних сполук цієї групи знаходиться у широкому інтервалі величин — від 0,4 до 4,9 мг/дм³ (в перерахунку на вміст глюкози) залежно від типу водного об'єкта та його трофічного статусу. Найбільші концентрації

вуглеводів було виявлено в Тернопільському водосховищі на р. Серет (в межах м. Тернополя) та другому Китаївському ставі (в межах м. Кисва). Відносний вміст вуглеводів, за середньорічними показниками, становить від 4,7 до 16,4% загального вмісту вуглецю розчинених органічних речовин (C_{org}). Наведено також концентрації цих органічних речовин у різномісних водних об'єктах з інших регіонів світу. В досліджуваних водних об'єктах вуглеводи представлені сполуками з широким інтервалом молекулярної маси — від $< 1,0$ до $> 70,0$ кДа. Однак у їхньому складі домінують високомолекулярні сполуки (полісахариди). Їхня частка становить у середньому 67,7—83,7% загального вмісту розчинених вуглеводів. Розглянуто сезонні варіації вмісту низькомолекулярної фракції вуглеводів ($< 1,0$ кДа).

**

Results of researches of the content and seasonal distribution of the dissolved carbohydrates in surface water objects of different type (lakes, rivers, reservoirs) are discussed. It is shown, that concentration of this group of organic substances is in a wide interval — from 0,4 up to 4,9 mg/dm³ depending on type of water object and its trophic status. The greatest concentration of carbohydrates has been found out in the Ternopol reservoir on Seret River (within the Ternopol city limits) and the second Kitayevskiyi pond (within the Kiev city limits). The relative content of carbohydrates, on mid-annual parameters, makes up from 4,7 up to 16,4% of the total concentration of the dissolved organic carbon (C_{org}). Data about the content of these organic substances in water objects of different type of other regions from the world are given also. In the investigated water objects carbohydrates are presented by compounds with a wide interval of molecular weight — from $< 1,0$ up to $> 70,0$ kDa. However the high-molecular weight compounds (polysaccharides) are dominated in the carbohydrates composition. Their share makes up 67,7—83,7% of the total content of the dissolved carbohydrates. Seasonal variations of the concentration of low-molecular fraction of carbohydrates ($< 1,0$ kDa) are considered.

**

1. Васильчук Т.А., Осипенко В.П., Евтух Т.В. Особенности миграции и распределения основных групп органических веществ в воде Киевского водохранилища в зависимости от кислородного режима // Гидробиол. журн. — 2010. — Т. 46, № 6. — С. 105—115.
2. Васильчук Т.О., Осипенко В.П. Вплив абіотичних чинників на формування розчинених органічних речовин озера Вербного // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. зб. — К., 2009. — Т. 16. — С. 153—158.
3. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. — Л.: Гидрометеоиздат, 1988. — 240 с.
4. Линник П.М., Васильчук Т.О., Осипенко В.П., Зубко О.В. Органічні речовини як важливий чинник у міграції важких металів у поверхневих водах // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2010. — № 2 (43). — С. 327—330.
5. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986. — 270 с.
6. Лозовик П.А., Ефремова Т.А., Сабьлина А.В. Углеводы и липиды в разнотипных водных объектах Карелии в летний период 2011 г. // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Материалы V Всерос. симп. с междунар. участием, 10—14

- сент. 2012 г., г. Петрозаводск, Республика Карелия, РФ. — Петрозаводск, 2012. — С. 373—376.
7. Лозовик П.А., Рыжаков А.В., Сабьлина А.В. Процессы трансформации, круговорота и образования веществ в природных водах // Тр. Карел. науч. центра РАН. — 2011. — № 4. — С. 21—28.
 8. Лукьянова О.Н. Гидрохимическая основа биопродуктивности нерестово-выростных лососевых озер: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 2007. — 22 с.
 9. Осагча Н.М. Роль органічних сполук у процесі трансформації міді(II) у водоймах комплексного і рибогосподарського призначення: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — К., 1993. — 23 с.
 10. Осипенко В.П. Молекулярно-масовий розподіл вуглеводів і білково-подібних речовин у поверхневих водоймах // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. зб. — К., 2013. — Т. 1(28). — С. 98—103.
 11. Осипенко В.П., Васильчук Т.О., Євтух Т.В. Порівняння вмісту вуглеводів і білковоподібних речовин у воді річок басейну р. Прип'яті та Київського водосховища залежно від концентрації гумусових речовин // Там же. — К., 2011. — Т. 1 (22). — С. 179—184.
 12. Осипенко В.П., Васильчук Т.О., Євтух Т.В. Сезонна динаміка вмісту основних груп органічних речовин у різних водних об'єктах // Там же. — К., 2012. — Т. 1(26). — С. 134—140.
 13. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 542 с.
 14. Сакевич А.И. Экзометаболиты пресноводных водорослей. — Киев: Наук. думка, 1985. — 200 с.
 15. Сакевич О.Й., Усенко О.М. Алелопатія в гідроекосистемах. — К.: Ін-т гідробіології НАН України, 2008. — 342 с.
 16. Семенов А.Д. Органические вещества в поверхностных водах Советского Союза: Автореф. дис. ... докт. хим. наук. — Новочеркасск, 1971. — 41 с.
 17. Сиренко Л.А., Козицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. — Киев: Наук. думка, 1988. — 256 с.
 18. Шнюкова Є.І. Продукування позаклітинних вуглеводів деякими синьозеленими водоростями // Укр. ботан. журн. — 1977. — Т. 34, № 3. — С. 225—229.
 19. Akiyama T. Chemical composition and molecular weight distribution of dissolved organic matter produced by bacterial degradation of green algae // *Geochem. J.* — 1972. — Vol. 6. — P. 93—104.
 20. *Aquatic ecosystems: interactivity of dissolved organic matter* / Ed. by S. E. G. Findlay, R. L. Sinsabaugh. — San Diego: Academic Press, 2003. — 512 p.
 21. Chróst R.J., Münster U., Rai H. et al. Photosynthetic production and exoenzymatic degradation of organic matter in the euphotic zone of a eutrophic lake // *J. Plankton Res.* — 1989. — Vol. 11, N 2. — P. 223—242.

22. *Geetha R., Chandramohanakumar N., Mathews L.* Seasonal and tidal impact on the organic compounds and nutrients distribution in tropical mangroves, Kerala, India // *Chemistry and Ecology*. — 2006. — Vol. 22. — P. 29—45.
23. *Gueguen C., Guo L., Wang D.L. et al.* Chemical characteristics and origin of dissolved organic matter in the Yukon River // *Biogeochemistry*. — 2006. — Vol. 77. — P. 139—155.
24. *He B., Dai M., Zhai W. et al.* Distribution, degradation and dynamics of dissolved organic carbon and its major compound classes in the Pearl River estuary, China // *Mar. Chem.* — 2010. — Vol. 119. — P. 52—64.
25. *Hung C.C., Guo L., Santschi P. et al.* Distribution of carbohydrate species in the Gulf of Mexico // *Ibid.* — 2003. — Vol. 81. — P. 119—135.
26. *Hung C.C., Warnken K.W., Santschi P.H.* A seasonal survey of carbohydrates and uronic acids in the Trinity River, Texas // *Org. Geochem.* — 2005. — Vol. 36. — P. 463—474.
27. *Ittekkot V., Spitzky A., Lammerz U.* Data on dissolved carbohydrates and amino acids in world rivers: A documentation. Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderband. — 1982. — Vol. 52. — P. 575—584.
28. *Jørgensen N.O.G.* Carbohydrates // *Encyclopedia of inland waters* / Ed. by G. E. Likens. — Oxford: Elsevier Science, 2009. — Vol. 2. — P. 727—742.
29. *Khodse V.B., Bhosle N.B., Matondkar S.G.P.* Distribution of dissolved carbohydrates and uronic acids in a tropical estuary, India // *J. Earth Syst. Sci.* — 2010. — Vol. 119, N. 4. — P. 519—530.
30. *Linnik P.N., Zhezherya V.A., Linnik R.P., Ivanechko Ya.S.* Influence of the component composition of organic matter on relationship between dissolved forms of metals in the surface waters // *Hydrobiol. J.* — 2013. — Vol. 49, N 1. — P. 91—108.
31. *Liu C-Y., Yang X-M., Yang G-P. et al.* Composition and characterization of colloidal organic matter in the coastal surface waters of Qingdao, China // *Mar. Chem.* — 2010. — Vol. 121. — P. 123—131.
32. *Panagiotopoulos C., Sempéré R., Para J. et al.* The composition and flux of particulate and dissolved carbohydrates from the Rhône River into the Mediterranean Sea // *Biogeosciences*. — 2012. — Vol. 9. — P. 1827—1844.
33. *Penna N., Kovač N., Ricci F. et al.* The role of dissolved carbohydrates in the northern Adriatic macroaggregate formation // *Acta Chim. Slov.* — 2009. — Vol. 56. — P. 305—314.
34. *Rubén J.L., Rachold V., Kattner G. et al.* Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic: Characteristics and distribution // *Mar. Chem.* — 1998. — Vol. 59. — P. 301—309.
35. *Saifullah A.S.M., Rahman S., Hasan Yu.* Distribution of inorganic nutrients and carbohydrates in the south east of the Bay of Bengal // *J. Subtropical Agricultural Research and Development*. — 2010. — Vol. 8, N 1. — P. 776—783.
36. *Satoh Y., Ochiai M., Oyama T., Koide N.* Dissolved carbohydrate (DCHO) in bog pool water determined by three different methods // *Jpn. J. Limnol.* — 1992. — Vol. 53, N 4. — P. 317—326.

37. *Satoh Y., Shoji S., Satoh H., Takahashi M.* Dissolved organic matter in colored water from mountain bog pools in Japan. I. Seasonal changes in the concentration and molecular weight distribution // *Arch. Hydrobiol.* — 1987. — Vol. 110. — P. 589—603.
38. *Steen A.D., Hamdan L.J., Arnosti C.* Dynamics of dissolved carbohydrates in the Chesapeake Bay: Insights from enzyme activities, concentrations, and microbial metabolism // *Limnol. Oceanogr.* — 2008. — Vol. 53, N 3. — P. 936—947.
39. *Striquer-Soares F., Chevolot L.* Particulate and dissolved carbohydrates and proteins in Lobo Reservoir (Sao Paulo State, Brazil): relationships with phytoplankton // *J. Plankton Res.* — 1996. — Vol. 18, N 4. — P. 521—537.
40. *Vasil'chuk T.A., Linnik P.N.* Carbohydrates in water of the Dnieper reservoirs // *Hydrobiol. J.* — 1998. — Vol. 34, N 2—3. — P. 212—218.
41. *Wang X., Cai Y., Guo L.* Variations in abundance and size distribution of carbohydrates in the lower Mississippi River, Pearl River and Bay of St Louis // *Estuar., Coast. and Shelf Sci.* — 2013. — Vol. 126. — P. 61—69.
42. *Wu G., Yang G.* Distributions of dissolved carbohydrates in the Yellow Sea and the Northern East China Sea in early winter // *J. Coast. Res.* — 2013. — Vol. 29, N 2. — P. 449—459.
43. *Zhang Y., Yang G., Chen Y.* Chemical characterization and composition of dissolved organic matter in Jiaozhou Bay // *Chinese J. Oceanol. and Limnol.* — 2009. — Vol. 27, N. 4. — P. 851—858.