

УДК 556.531.4 (282.247.32)

*П. Н. Линник, Я. С. Иванечко***РАСТВОРЕННЫЕ БЕЛКОВОПОДОБНЫЕ ВЕЩЕСТВА  
В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РАЗНОГО  
ТИПА**

Обобщены результаты исследований растворенных белковоподобных веществ в поверхностных водных объектах разного типа (озера, реки, водохранилища). Показано, что концентрация растворенных органических веществ этой группы в поверхностных водах Украины характеризуется сравнительно невысокими показателями — от 0,03 до 1,41 мг/дм<sup>3</sup>. Их доля составляет 0,3—7,8% общего содержания углерода растворенных органических веществ ( $C_{\text{орг}}$ ), не превышая в среднем 2,6%  $C_{\text{орг}}$ . Содержание белковоподобных веществ в воде зависит от трофического статуса водного объекта и, соответственно, интенсивности развития гидробиоты. Минимальные концентрации соединений белковой природы приходятся на зимний период, а максимальные — на весенне-летний. Белковоподобные вещества, содержащиеся в поверхностных водах, характеризуются широким диапазоном молекулярной массы — от < 1,0 до > 70,0 кДа. Среди широкого разнообразия фракций преобладают соединения с молекулярной массой < 1,0 кДа. Максимальное суммарное содержание фракций белковых соединений с молекулярной массой  $\leq 5,0$  кДа достигает 45—72% в общем балансе растворенных белковоподобных веществ. Приведены также данные о среднемассовой молекулярной массе ( $M_w$ ) белковых соединений и возможные причины ее изменчивости.

**Ключевые слова:** *растворенные белковоподобные вещества, молекулярно-массовое распределение, озера, реки, водохранилища.*

Среди растворенных органических веществ (РОВ) поверхностных вод важное место занимают азотсодержащие органические соединения, к которым относятся, прежде всего, белковые соединения (протеины), олигопептиды, пептиды и аминокислоты. Часто перечисленные вещества, за исключением свободных аминокислот, объединяют в группу белковоподобных веществ (БПВ). В последнее время в научной литературе, посвященной изучению этой группы органических веществ поверхностных вод, основное внимание уделено исследованию свободных аминокислот и комбинированных аминокислотных соединений [23—25, 28, 33, 35, 39, 41, 44]. В состав последних входят протеины, олиго- и полипептиды, а также аминокислоты, связанные с гумусовыми веществами [29].

Поступление БПВ в поверхностные водные объекты происходит как за счет внутриводоемных процессов, так и путем их привнесения извне [19,

© П. Н. Линник, Я. С. Иванечко, 2014

20]. В конце вегетационного периода важную роль играют внутриводоемные процессы, обуславливающие поступление в воду полипептидных компонентов из продуктов прижизненных выделений и разложения гидробионтов, прежде всего планктонных и бентосных организмов, численность которых существенно возрастает в этот период года [5, 20]. Определенный вклад в этот процесс вносят остатки отмирающего фитопланктона и высших водных растений. Значительное количество белков и продуктов их распада поступает в воду вследствие взаимодействий, происходящих между гидробионтами. В водных биоценозах возникают разнообразные трофические связи, когда одни организмы выделяют в водную среду различные продукты своей жизнедеятельности, включая и белковые вещества, а другие виды или группы организмов используют их в качестве источника энергии для своего роста и жизнедеятельности. Белковые соединения и продукты их распада — это источники различных форм органического углерода, азота и фосфора, которые влияют на биопродуктивность водоемов [19].

Содержание белковых веществ в планктонных организмах достигает около 50% [19], в синезеленых водорослях, таких как *Anabaena cylindrica* и *Microcystis aeruginosa* они составляют 30—35% сухого вещества [1]. Природные популяции *Aphanizomenon flos-aquae* содержат более 40% белковых компонентов. Содержание белка в синезеленых водорослях непостоянно и меняется в зависимости от условий их существования и физиологического состояния. Максимальное его количество приходится на период наиболее интенсивного размножения водорослей. Среди белковых соединений, выделяемых водорослями, обнаружены альбумины, глобулины и белки, растворимые в щелочах. В составе белковых компонентов водорослей *M. aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae* содержится 30% водорастворимых белков, примерно 12% составляют белки, растворимые в щелочах, и около 60% белков остаются в осадке, то есть относятся к трудноизвлекаемым [17].

В ряде работ отмечено, что скорость выделения белковых соединений водными организмами неравномерна [5]. Она зависит от температуры и освещенности, состава водной среды и донных отложений, физиологического состояния клеток, сезона года, интенсивности процессов минерализации, которые, в свою очередь, зависят от температурного и кислородного режимов, формирующихся в водном объекте.

Белковые соединения относятся к нестойким органическим веществам, которые подвергаются деструкции под воздействием различных факторов [19]. Поскольку вещества белковой природы являются в большей степени высокомолекулярными, их ассимиляция возможна лишь после деструкции до более простых соединений [19]. Расщепление различных белков автотонного или аллотонного происхождения до пептидов и аминокислот происходит с участием внеклеточных гидролитических ферментов животного, водорослевого и бактериального происхождения [19, 22]. Упомянутые продукты этого расщепления становятся биодоступными и включаются затем в метаболизм водных организмов того же самого водоема [5]. По разным оценкам, доля органических соединений, образующихся после гидролиза нейтральных сахаров и БПВ, составляет в среднем от 34 до 70% биодоступного растворенного органического углерода [19, 45]. Чаще всего распад

белков происходит преимущественно как внеклеточный процесс с участием микроорганизмов, содержащих протеолитические ферменты.

Скорость деструкции белков в поверхностных водах зависит от температуры, степени кислородного насыщения воды и ее химического состава, освещенности, прозрачности и некоторых других факторов [15]. В аэробных условиях бактериальная деструкция белковых соединений происходит более эффективно, а ухудшение кислородного режима водоемов приводит к замедлению их биохимического окисления. Например, период полураспада белка в воде днепровских водохранилищ в аэробных условиях при температуре 10, 20 и 30°C составляет соответственно 9,5, 5,5 и 1,5 суток. В анаэробных условиях этот процесс существенно замедляется и для всех указанных значений температуры составляет почти 33 суток.

Среднегодовые и среднесезонные показатели содержания растворенных белков в водохранилищах Днепровского каскада варьируют в пределах 0,18—1,30 мг/дм<sup>3</sup> [4]. В условиях массового «цветения» водорослей и их отмирания концентрация белков может повышаться до 2,0 мг/дм<sup>3</sup> и более. Однако ранней весной, когда фотосинтетические процессы еще не получают интенсивного развития, содержание этой группы РОВ в воде не превышает 0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Цель настоящей работы — обобщение результатов исследования БПВ в поверхностных водных объектах разного типа, которое заключалось в изучении сезонных изменений их концентрации и распределения среди различных по молекулярной массе фракций.

**Материал и методика исследований.** Исследования БПВ проводили на разных водных объектах, включая озера Люцимир и Большое Черное из Шацкой группы, реки Десна (устье), Рось (вблизи г. Белой Церкви), Южный Буг (вблизи г. Хмельницкого), Серет (выше и ниже Тернопольского водохранилища), водохранилища Каневское (верхний участок в пределах г. Киева) и Тернопольское, а также второй Китаевский пруд (г. Киев).

Пробы воды объемом 1,0—1,5 дм<sup>3</sup> отбирали из поверхностного слоя на глубине около 0,5 м и сразу же доставляли в лабораторию для проведения дальнейших исследований. Отделение взвешенных веществ достигалось путем пропускания проб воды под давлением ~ 2,0 атм. через мембранные фильтры Супрог (Чехия) с диаметром пор 0,4 мкм. РОВ в фильтрах природной воды разделяли на три группы: кислотную, содержащую главным образом гумусовые вещества, основную, в которой преобладали БПВ, и нейтральную, — с доминированием углеводов. Для этих целей использовали стеклянные колонки, заполненные ионообменными целлюлозами ДЭАЭ (диэтиламиноэтилцеллюлоза) и КМ (карбоксиметилцеллюлоза), через которые последовательно пропускали фильтраты природной воды (1,0—1,5 дм<sup>3</sup>). На обеих колонках достигалось концентрирование органических соединений, не менее чем в 20—40 раз. Это особенно важно при исследовании БПВ, отличающихся сравнительно низким содержанием в воде и склонностью к деструкции. Концентрацию растворенных БПВ в составе основной группы РОВ определяли по методу Лоури — Фолина [3], сразу же после их разделе-

ния на колонках с целлюлозными ионитами. Содержание этих органических соединений устанавливали также путем суммирования их концентрации во фракциях после гель-хроматографического разделения, которое применялось для изучения их молекулярно-массового распределения. С этой целью использовали 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), инсулина (5,8 кДа), бычьего сывороточного альбумина (68,0 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 см<sup>3</sup>, общий объем  $V_t$  — 375 см<sup>3</sup>. В качестве элюента использовали 0,025 моль/дм<sup>3</sup> фосфатный буферный раствор с рН 7,0. Фракции после гель-хроматографического разделения, объемом по 15 см<sup>3</sup>, собирали в стеклянные пробирки с помощью коллектора DOMBIFRAK (Украина).

Концентрацию растворенного углерода органических соединений ( $C_{орг}$ ) рассчитывали, исходя из величин бихроматной окисляемости (БО) воды, по формуле:  $C_{орг} = 0,375БО$  [14].

### Результаты исследований и их обсуждение

*Содержание БПВ в воде исследованных объектов.* В таблице 1 приведены результаты исследований концентрации БПВ в поверхностных водных объектах разного типа. В большинстве исследованных объектов она находится в пределах ниже 1,0 мг/дм<sup>3</sup>. В составе РОВ эта группа органических соединений составляет от 0,3 до 7,8% суммарного содержания растворенного  $C_{орг}$ . Среднее содержание обычно не превышает 1,2—2,6%  $C_{орг}$ , что согласуется с результатами многих исследователей [19, 43, 44]. В водохранилищах Днепроовского каскада, как было установлено нами ранее, доля БПВ в суммарном содержании РОВ составляет от 1,5 до 3,5% [34]. В эвтрофных озерных водах и в эстуариях доля белковых соединений в суммарном содержании  $C_{орг}$  может увеличиваться до 10—14, а иногда и до 16—20% [25, 36, 45].

Для сравнительной оценки наших данных о содержании БПВ в поверхностных водных объектах с данными других исследователей нами обобщены и представлены в таблице 2 также результаты исследований этой группы органических соединений в поверхностных пресных и солоноватых водах из различных регионов мира. Сразу же необходимо отметить, что концентрация белковых соединений в анализируемых нами работах выражалась в различные годы по-разному. В одних случаях содержание БПВ было представлено в мкг N/дм<sup>3</sup>, в других — в мкг C/дм<sup>3</sup>, в третьих — в мкмоль C/дм<sup>3</sup>. В работах зарубежных авторов последних лет содержатся сведения о концентрации растворенных свободных аминокислот (ДФАА) и растворенных комбинированных аминокислот (ДСАА), о чем уже упоминалось в начале работы. Для обобщения этих результатов и представления концентрации БПВ в каком-то приемлемом виде, например в мг/дм<sup>3</sup> и в мкмоль C/дм<sup>3</sup>, нами проведены специальные расчеты, в основу которых положены эмпирические формулы, заимствованные из работы [25]. Для растворенных свободных аминокислот (ДФАА):  $1,0 \text{ мкмоль/дм}^3 \cdot (4,26 \pm 0,22) = 1,0 \text{ мкмоль C/дм}^3$ ;  $1,0 \text{ мкмоль/дм}^3 \cdot (1,3 \pm 0,09) = 1,0 \text{ мкмоль N/дм}^3$  и комбинированных

**1. Содержание растворенных БПВ в некоторых водных объектах Украины по результатам исследований 2010—2012 гг. (в пересчете на концентрацию альбумина из бычьей сыворотки [BSA])**

Водные объекты	БПВ		% C <sub>орг</sub>
	мг/дм <sup>3</sup>	мкмоль С/дм <sup>3</sup>	
оз. Люцимир	0,17 – 0,63	6,4 – 23,6	0,4 – 2,7
	0,36	13,5	1,4
оз. Большое Черное	0,10 – 0,44	3,8 – 16,5	0,6 – 2,1
	0,28	11,7	1,4
р. Десна, устье	0,08 – 0,50	3,0 – 18,8	0,6 – 2,8
	0,23	8,6	1,2
р. Рось, г. Белая Церковь	0,06 – 0,45	2,3 – 16,9	0,4 – 2,5
	0,25	9,4	1,5
р. Южный Буг, г. Хмельницкий	0,03 – 0,21	1,1 – 7,9	0,3 – 1,7
	0,10	3,8	0,7
р. Серет, выше Тернопольского водохранилища	0,03 – 0,35	1,1 – 13,2	0,8 – 7,8
	0,15	5,6	2,6
р. Серет, ниже Тернопольского водохранилища	0,03 – 0,20	1,1 – 7,5	0,5 – 2,3
	0,12	4,5	1,2
Каневское водохранилище, верхняя часть, рук. Десенка	0,03 – 0,65	1,1 – 24,4	0,3 – 2,0
	0,27	10,1	1,0
Тернопольское водохранилище, верховье	0,07 – 0,42	2,6 – 15,8	0,7 – 4,9
	0,24	9,0	2,6
Там же, приплотинный участок	0,17 – 0,38	6,4 – 14,3	1,3 – 2,9
	0,24	10,9	2,0
Второй Китаевский пруд, г. Киев	0,07 – 1,04	2,6 – 39,0	0,4 – 5,3
	0,29	10,9	1,4

Примечание. Здесь и в табл. 2—4: над чертой — пределы колебаний, под чертой — средние значения. Концентрация БПВ выражена также в мкмоль С/дм<sup>3</sup> из расчета, что 1,0 мг белка/дм<sup>3</sup> соответствует 0,45 мг С/дм<sup>3</sup> [25].

(или связанных) аминокислот (DCAA):  $1,0 \text{ мкмоль/дм}^3 \cdot (4,13 \pm 0,23) = 1,0 \text{ мкмоль С/дм}^3$ ;  $1,0 \text{ мкмоль/дм}^3 \cdot (1,13 \pm 0,05) = 1,0 \text{ мкмоль N/дм}^3$ . Кроме того, по результатам элементного анализа бычьего сывороточного альбумина (BSA) принято, что 1,0 мг белка/дм<sup>3</sup> соответствует 0,45 мг С/дм<sup>3</sup>.

Концентрация белковых соединений в разнотипных водных объектах характеризуется существенным различием (см. табл. 2) — от совсем низких величин, свойственных водным объектам с низким трофическим уровнем, до максимальных значений, составляющих несколько миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>,

**2. Содержание растворенных белковоподобных веществ, свободных и комбинированных (связанных) аминокислот в разнотипных водных объектах**

Водные объекты	БПВ		Литературные источники
	мг/дм <sup>3</sup>	мкмоль С/дм <sup>3</sup>	
Озера			
Озера Российской Федерации (РФ)	0,91—2,09	34,0—78,5	[7, 16]
в том числе Байкал	0,05—0,62	2,0—23,2	
Онежское	0,16—1,05	6,0—39,2	
Озера Карелии (РФ)	0,28—6,09	10,7—228,4	[8]
Мезотрофное оз. Констанца (ФРГ)	0,10—0,23	3,8—8,6	[38]
	< 0,003—0,06*	< 0,09—2,04*	[39]
	0,07—0,41**	2,52—15,50**	
Плюсзее, ФРГ	1,34—2,36	50,3—88,5	[22, 36]
Озера ФРГ, Дании, Финляндии, Норвегии	< 0,001—0,53*	< 0,033—17,6*	[36]
Эвтрофные озера Японии	0,23—1,11	8,6—41,6	[26, 37]
Эвтрофные озера Дании	0,01—0,47*	0,33—15,7*	[31]
Курильское, п-ов Камчатка (РФ)	0,11—0,37	4,1—13,9	[9]
Азабачье, правобережье р. Камчатка (РФ)	0,17—1,12	6,4—42,0	[9]
Озера г. Киева (Украина)			
Тельбин	0,3—1,1	11,3—41,3	[6]
Вербное	0,5—1,3	18,8—48,8	[6]
Центральное	0,49—0,66	18,4—24,8	[13]
Реки			
Реки мира (США, Китай, Пакистан, Бангладеш)	0,017—1,21	0,6—45,4	[30, 47]
Волга, Дон, Обь, Нева (РФ)	0,40—2,37	15,0—88,8	[7, 16]
Варнов, северо-восточная часть ФРГ	0,06—0,15*	2,0—5,0*	[24]
	0,89—1,01**	33,5—38,0**	
Бассейн р. Припяти (Украина), 2010 г.			
лето	<u>0,18 – 0,50</u>	<u>6,8 – 18,8</u>	[12]
	0,33	12,4	

Продолжение табл. 1

Водные объекты	БПВ		Литературные источники
	мг/дм <sup>3</sup>	мкмоль С/дм <sup>3</sup>	
осень	<u>0,18 – 0,34</u> 0,28	<u>6,8 – 12,8</u> 10,5	
Лена (РФ)	0,006—0,013*	0,21—0,43*	[33]
	0,17—0,58**	6,5—21,7**	
Дельта р. Лены (РФ)	0,006*	0,21*	[33]
	0,29**	11,0**	
Ручьи юго-восточной части штата Пенсильвания (США)	0,002—0,025*	0,07—0,83*	[44]
	0,08—0,41**	2,9—15,4**	
Бореальные ручьи Швеции	0,013—0,09*	0,43—2,94*	[41]
	0,07—0,29**	2,48—10,94**	
Водохранилища			
Волгоградское, Рыбинское, Дубоссарское, Братское, Киевское, Каховское (РФ, Молдова, Украина)	0,34—2,37	12,8—88,8	[7, 16]
Днепровского каскада (Украина)			
Киевское	<u>0,18 – 1,01</u> 0,53	<u>6,8 – 37,9</u> 19,9	[2, 4, 34]
Каневское, верхний участок	<u>0,31 – 0,63</u> 0,46	<u>11,6 – 23,6</u> 17,3	[11]
Кременчугское	<u>0,15 – 1,41</u> 0,58	<u>5,6 – 52,9</u> 21,8	[4, 34]
Каховское	<u>0,18 – 1,07</u> 0,70	<u>6,8 – 40,1</u> 26,3	[4, 34]
Лобо (Бразилия)	<u>0,28 – 2,91</u> 0,98	<u>10,5 – 109,1</u> 36,8	[42]
Эстуарии			
Перл (Китай)	<u>0,19 – 2,75</u> 0,96	<u>7,2 – 103,0</u> 36,1	[28]
	<u>0,024 – 1,18 *</u> 0,37	<u>0,8 – 40,0 *</u> 12,4	
	<u>0,18 – 1,89 * *</u> 0,70	<u>6,0 – 63,0 * *</u> 23,5	

Продолжение табл. 1

Водные объекты	БПВ		Литературные источники
	мг/дм <sup>3</sup>	мкмоль С/дм <sup>3</sup>	
Мелководный эстуарий (Балтийское море)	0,041—0,67*	1,36—22,2*	[25]
	0,30—7,68**	11,3—288**	
Делавэр (США)	0,006—0,18*	0,21—5,96*	[23]
	0,011—0,88**	0,41—33,0**	
Прибрежные воды морских заливов			
Побережье Балтийского моря	0,04—0,22*	1,33—7,30*	[25]
	0,36—1,62**	13,6—60,7**	
Рижский залив Балтийского моря	0,013—0,032*	0,42—1,08*	[32]
	0,059—0,44**	2,2—16,4**	
Цзяочжоу, Желтое море (Китай)	<u>0,22 – 0,71</u>	<u>8,3 – 26,8</u>	[35]
	0,41	15,3	
	<u>0,026 – 0,15 *</u>	<u>0,85 – 5,11 *</u>	
	0,064	2,13	
	<u>0,17 – 0,68 * *</u>	<u>6,2 – 25,6 * *</u>	
	0,35	13,2	
Море Богей, Китай	0,19—0,81	7,3—30,4	[21]
	0,026—0,30*	0,85—10,01*	
	0,09—0,79**	3,2—29,6**	

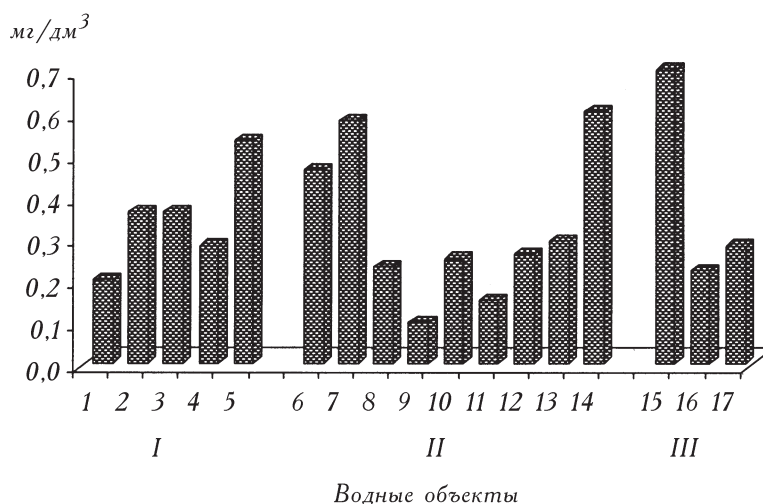
\* Растворенные свободные аминокислоты (ДФАА — dissolved free amino acids), \*\* растворенные комбинированные аминокислоты (ДФСАА — dissolved combined amino acids).

— в эвтрофных водоемах, таких как озера Крошнозеро и Святозеро в Карелии [8], мелководный эстуарий Балтийского моря [25] и др.

Концентрации свободных аминокислот чаще всего намного ниже, чем связанных аминокислот, находящихся в составе белковых соединений (см. табл. 2) [24, 25, 32, 33, 39, 41, 44]. По данным А. Д. Семенова [16], в природных поверхностных водоемах и водотоках их содержание составляет 0,014—0,18 мг/дм<sup>3</sup> (2,0—25,0 мкг N/дм<sup>3</sup>).

В водохранилищах Днепровского каскада и озерных системах г. Киева содержание БПВ выше, чем в водных объектах, приведенных в таблице 1. Речные воды характеризуются, как правило, более низкими концентрациями БПВ (см. табл. 1 и 2). Это же касается и прибрежных вод морских заливов (см. табл. 2).



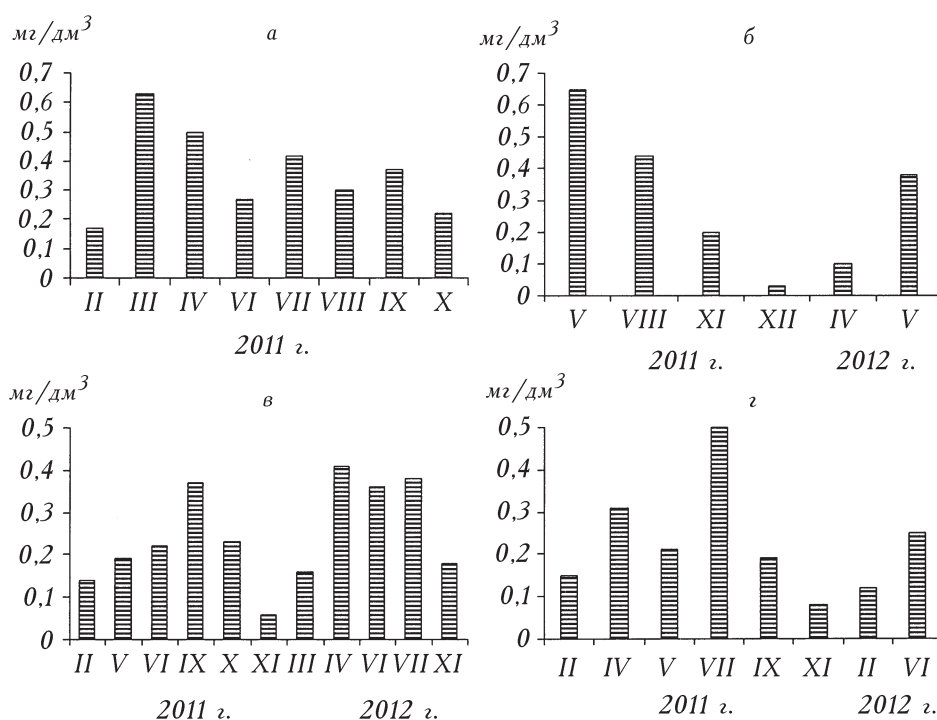


1. Средние величины содержания БПВ в поверхностных водных объектах Украины, находящихся в различных физико-географических зонах: I — зона смешанных лесов (1, 2 — реки Ствига, Припять, 3, 4 — озера Люцимир, Большое Черное, 5 — Киевское водохранилище); II — лесостепная зона (6, 7 — Каневское (верхняя часть) и Кременчугское водохранилища, 8—11 — реки Десна, Южный Буг, Рось, Серет, 12 — Тернопольское водохранилище, 13 — второй Китаевский пруд, 14 — оз. Тельбин); III — степная зона (15 — Каховское водохранилище, 16 — Килийская дельта Дуная, 17 — Сасыкское водохранилище).

Аквагенные РОВ, выделяемые планктонными организмами и водными макрофитами в процессе их жизнедеятельности, а также высвобождаемые вследствие деструкции их отмерших остатков, включают главным образом углеводы. Вклад других органических соединений, в частности липидов, аминокислот, протеинов является сравнительно небольшим, особенно в речных водах, из-за их адсорбции на взвешенных частицах и быстрой деградации [46].

Концентрация БПВ в поверхностных водных объектах всецело зависит от их трофического статуса. В этом можно убедиться, исходя из приведенных ниже средних значений содержания белковых соединений в водных объектах Украины, находящихся в различных физико-географических зонах (рис. 1). По всей видимости, физико-географическая зональность имеет менее выраженное влияние на концентрацию БПВ, хотя оно и проявляется. Например, в высокоцветных водах рек бассейна Припяти, где, очевидно, имеет место угнетение развития фитопланктона из-за сравнительно высоких концентраций гумусовых веществ, содержание белковых соединений характеризуется низкими показателями [12]. В Килийской дельте Дуная, где интенсивность развития водорослей также сравнительно невысокая из-за высоких показателей мутности воды и течения, концентрация БПВ также остается низкой — около 0,2 мг/дм³ [10].

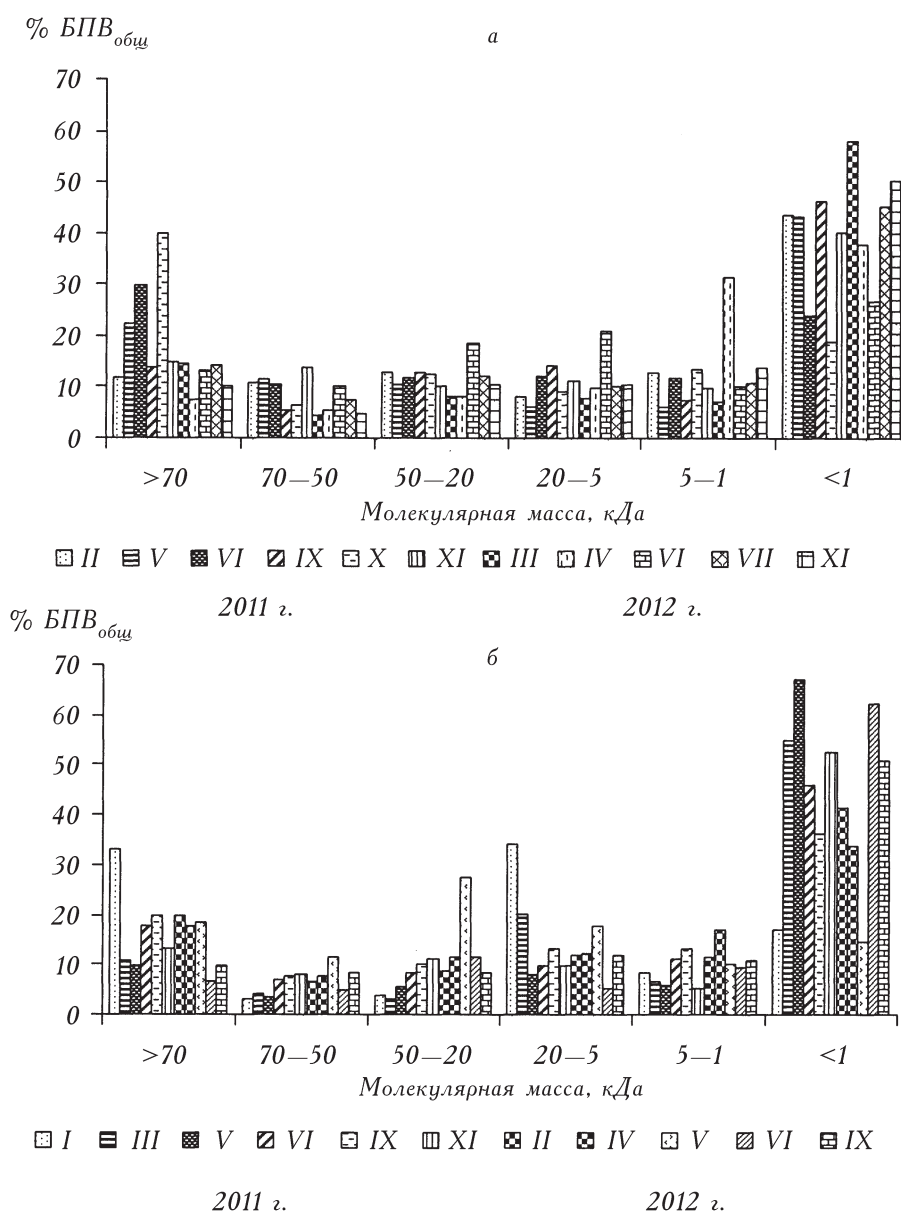
Анализ сезонной динамики содержания БПВ в исследованных водных объектах показал, что самые низкие величины их концентрации характерны для зимнего периода, а в весенне-летний период они увеличиваются по



2. Внутригодовые изменения концентрации растворенных БПВ в воде оз. Люцимир (а), рукава Десенка Каневского водохранилища (б), рек Роси (в) и Десны (г).

мере активизации биологических процессов в водных объектах (рис. 2). Подобная сезонная динамика растворенных комбинированных аминокислот и протеинов отмечена в оз. Констанца (Германия) и некоторых других озерах, что связывают с водорослевым «цветением» [20]. При этом фракция микропланктона размером от 1 до 140 мкм, в особенности фитопланктон и инфузории, рассматривается как основной источник растворенных свободных аминокислот и протеинов.

*Молекулярно-массовое распределение БПВ.* Результаты гель-хроматографических исследований показали, что БПВ, содержащиеся в исследованных водных объектах, характеризуются широким интервалом величин молекулярной массы — от < 1,0 до > 70,0 кДа (рис. 3, табл. 3). О подобной картине распределения БПВ среди различных по молекулярной массе фракций мы сообщали ранее при изучении этой группы органических соединений в водохранилищах Днепра [34]. В научной литературе также отмечается широкий диапазон молекулярной массы белковых соединений. Например, в воде эстуария Делавэр (США) среди растворенных комбинированных аминокислот обнаружено около 60% соединений с молекулярной массой < 1,0 кДа, однако в их составе находились также вещества, молекулярная масса которых была выше 100,0 кДа [23]. В продуктах бактериальной деструкции зеленых водорослей доминировали белки с молекулярной массой > 50,0 кДа [18].



3. Соотношение различных по молекулярной массе фракций БПВ в воде р. Рось (а) и второго Китаевского пруда (б).

Как показали результаты наших исследований, среди широкого разнообразия фракций БПВ преобладают соединения с молекулярной массой, не превышающей 1,0 кДа. В этом можно убедиться на примере р. Рось и второго Китаевского пруда (см. рис. 3). Примерно такое же распределение БПВ по фракциям с различной молекулярной массой наблюдается и в других исследованных водных объектах (см. табл. 3). Если же принять во внимание

### 3. Относительное содержание различных по молекулярной массе фракций в составе растворенных БПВ в воде исследованных объектов

Водные объекты	Молекулярная масса фракций, кДа	Содержание фракций		
		мкг/дм <sup>3</sup>	мкмоль С/дм <sup>3</sup>	% БПВ <sub>общ</sub>
оз. Люцимир	> 70,0	47,0 – 176,5	1,8 – 6,6	16,7 – 28,0
		88,0	3,3	21,8
	70,0—50,0	16,8 – 51,7	0,6 – 1,9	5,6 – 10,5
		30,9	1,2	7,8
	50,0—20,0	27,0 – 55,9	1,0 – 2,1	6,8 – 13,3
		36,3	1,4	9,9
	20,0—5,0	25,3 – 50,4	0,9 – 1,9	7,3 – 15,7
43,4		1,6	11,9	
5,0—1,0	30,6 – 102,0	1,1 – 3,8	10,2 – 16,2	
оз. Большое Черное	> 70,0	25,4 – 119,7	1,0 – 4,5	14,9 – 27,2
		70,0	2,6	20,5
	70,0—50,0	9,3 – 39,0	0,3 – 1,5	5,6 – 9,5
		23,0	0,9	7,0
	50,0—20,0	20,8 – 44,3	0,8 – 1,7	7,8 – 13,0
		30,8	1,2	10,0
	20,0—5,0	28,0 – 51,5	1,1 – 1,9	7,8 – 15,8
40,3		1,5	11,4	
5,0—1,0	19,2 – 46,4	0,7 – 1,7	8,1 – 12,9	
Тернопольское водохранилище	> 70,0	18,6 – 103,3	0,7 – 3,9	10,0 – 35,4
		44,5	1,7	21,0
	70,0—50,0	4,6 – 44,9	0,2 – 1,7	4,6 – 10,7
		18,2	0,7	7,5
	50,0—20,0	9,1 – 42,2	0,3 – 1,6	8,2 – 13,9
		24,7	0,9	11,5
	20,0—5,0	9,5 – 69,3	0,4 – 2,6	9,2 – 16,5
31,5		1,2	13,3	
5,0—1,0	4,4 – 73,8	0,2 – 2,8	6,3 – 18,0	
		28,7	1,1	11,5

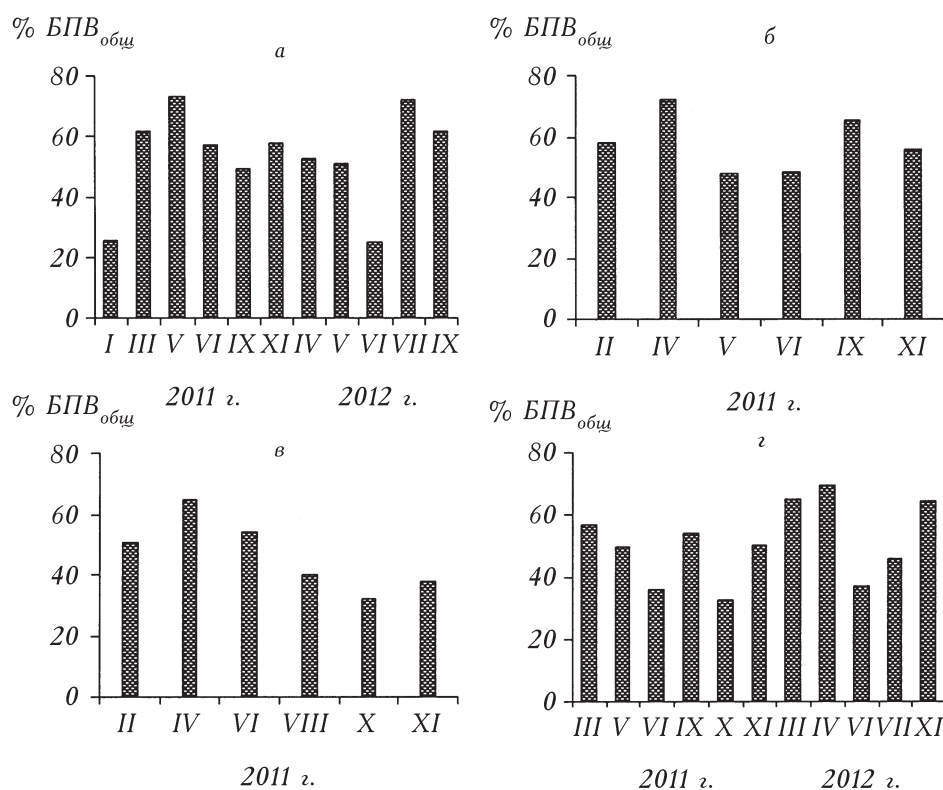
Продолжение табл. 3

Водные объекты	Молекулярная масса фракций, кДа	Содержание фракций		
		мкг/дм <sup>3</sup>	мкмоль С/дм <sup>3</sup>	% БПВ <sub>общ</sub>
Каневское водохранилище, рук. Десенка	< 1,0	21,9 – 191,5	0,8 – 7,2	17,1 – 46,7
		87,5	3,3	35,2
	> 70,0	7,4 – 140,4	0,3 – 5,3	13,4 – 27,0
		67,0	2,5	21,0
	70,0—50,0	2,7 – 60,5	0,1 – 2,3	4,8 – 9,8
		24,8	0,9	7,3
	50,0—20,0	7,0 – 77,4	0,3 – 2,9	10,5 – 23,2
		41,5	1,6	14,8
	20,0—5,0	4,5 – 80,0	0,2 – 3,0	12,3 – 25,8
		46,3	1,7	17,5
	5,0—1,0	2,9 – 55,3	0,1 – 2,1	6,8 – 24,3
		31,7	1,2	13,0
р. Десна, устье	< 1,0	5,5 – 236,4	0,2 – 8,9	18,5 – 36,4
		88,7	3,3	26,4
	> 70,0	13,5 – 48,8	0,5 – 1,8	14,0 – 19,3
		32,6	1,2	16,4
	70,0—50,0	4,9 – 21,0	0,2 – 0,8	1,9 – 10,0
		12,3	0,5	6,4
	50,0—20,0	6,5 – 31,0	0,2 – 1,2	2,1 – 12,4
		15,9	0,6	8,7
	20,0—5,0	7,8 – 28,8	0,3 – 1,1	6,4 – 15,0
		20,7	0,8	10,6
	5,0—1,0	7,4 – 39,0	0,3 – 1,5	7,2 – 13,3
		20,3	0,8	9,9
р. Рось, г. Белая Церковь	< 1,0	37,0 – 184,8	1,4 – 6,9	34,5 – 59,6
		96,5	3,6	48,0
	> 70,0	8,9 – 91,8	0,3 – 3,4	7,3 – 39,9
		40,8	1,5	17,4
	70,0—50,0	7,2 – 36,7	0,3 – 1,4	4,5 – 11,7
		18,8	0,7	8,3
	50,0—20,0	6,2 – 67,0	0,2 – 2,5	8,0 – 18,6
		29,5	1,1	11,6
	20,0—5,0	6,6 – 75,2	0,2 – 2,8	6,2 – 20,9
		28,5	1,1	10,9

Продолжение табл. 3

Водные объекты	Молекулярная масса фракций, кДа	Содержание фракций		
		мкг/дм <sup>3</sup>	мкмоль С/дм <sup>3</sup>	% БПВ <sub>общ</sub>
р. Южный Буг, г. Хмельницкий	5,0—1,0	5,9 – 129,2	0,2 – 4,8	6,2 – 31,5
		33,2	1,2	12,3
	< 1,0	24,0 – 171,8	0,9 – 6,4	18,8 – 58,2
		94,8	3,6	39,5
	> 70,0	12,4 – 53,9	0,5 – 2,0	18,5 – 38,5
		28,9	1,1	26,3
	70,0—50,0	5,3 – 20,6	0,2 – 0,8	5,8 – 13,3
		10,2	0,4	9,6
	50,0—20,0	4,4 – 21,8	0,2 – 0,8	7,7 – 12,1
		11,3	0,4	10,0
	20,0—5,0	3,7 – 24,6	0,1 – 0,9	9,3 – 14,2
		13,3	0,5	11,7
5,0—1,0	3,6 – 18,5	0,1 – 0,7	7,9 – 11,0	
	10,2	0,4	9,4	
< 1,0	10,5 – 80,4	0,4 – 3,0	23,6 – 41,0	
	38,0	1,4	33,0	
Второй Китаев- ский пруд	> 70,0	8,0 – 343,2	0,3 – 12,9	6,7 – 33,0
		58,4	2,2	16,2
	70,0—50,0	5,5 – 33,3	0,2 – 1,2	3,2 – 11,6
		15,2	0,6	6,5
	50,0—20,0	7,9 – 40,6	0,3 – 1,5	3,3 – 27,4
		20,0	0,8	10,0
	20,0—5,0	6,4 – 355,7	0,2 – 13,3	5,3 – 34,2
		59,5	2,2	14,0
	5,0—1,0	3,6 – 88,4	0,1 – 3,3	5,0 – 16,9
		26,9	1,0	9,9
	< 1,0	16,2 – 341,0	0,6 – 12,8	14,7 – 67,3
		116,3	4,4	43,4

суммарное содержание фракций с молекулярной массой 5,0—1,0 и < 1,0 кДа, то доля таких соединений в общем балансе БПВ существенно повышается (с 25,7 до 73,1%), и они становятся доминирующими. С учетом средних значений относительного содержания указанных выше фракций по каждому из исследованных нами водных объектов оказалось, что их доля составляет 39,3—57,9%. Ранее было показано, что летом в водохранилищах Днепровского каскада доля белковых соединений с молекулярной массой



4. Относительное содержание фракции белковых соединений с молекулярной массой  $\leq 5,0$  кДа в общем балансе растворенных БПВ: *a* — второй Китаевский пруд, *б* — устье р. Десны, *в* — Тернопольское водохранилище, *г* — р. Рось.

$\leq 5,0$  кДа достигает 74,5—90,2% общего их содержания в воде [34]. В озерах Германии и Японии массовая доля протеинов и полипептидов с молекулярной массой  $< 5,0$  кДа составляла от 55 до 74% общего содержания белковых соединений [26, 27, 40]. Полученные нами данные в достаточной степени согласуются с аналогичными, приведенными в литературе по другим водным объектам.

Мы попытались выяснить сезонную динамику относительного содержания фракции БПВ с молекулярной массой  $\leq 5,0$  кДа (рис. 4). В некоторых водных объектах доля этой фракции существенно повышается в весенне-летний период, что связано, очевидно, с активизацией процессов деструкции высокомолекулярных белковых соединений под действием внеклеточных гидролитических ферментов животного, водорослевого и бактериального происхождения. Однако не единичны случаи, когда содержание этой фракции существенно снижается в этот же период, что обусловлено ассимиляцией соединений с относительно невысокой молекулярной массой гидробонтами в процессе их развития [19, 20]. Поскольку в водных объектах процессы экскреции, деструкции и ассимиляции происходят одновременно, по этой причине трудно выявить определенные сезонные изменения в относи-

#### 4. Среднемассовая молекулярная масса белковых соединений, содержащихся в воде исследованных объектов

Водные объекты	$M_w$ , кДа	Водные объекты	$M_w$ , кДа
оз. Люцимир	$\frac{19,5 - 29,6}{25,0}$	Р. Серет	$\frac{17,2 - 32,9}{24,0}$
оз. Большое Черное	$\frac{19,2 - 27,5}{23,4}$	Каневское водохранилище, рук. Десенка	$\frac{17,0 - 31,3}{25,2}$
р. Десна	$\frac{15,3 - 25,9}{20,6}$	Тернопольское водохранилище	$\frac{16,2 - 43,0}{28,5}$
р. Рось	$\frac{11,6 - 38,9}{22,2}$	Второй Китаевский пруд	$\frac{12,3 - 35,9}{22,3}$
р. Южный Буг	$\frac{22,0 - 39,0}{30,0}$		

тельном содержании фракции БПВ с молекулярной массой, не превышающей 5,0 кДа.

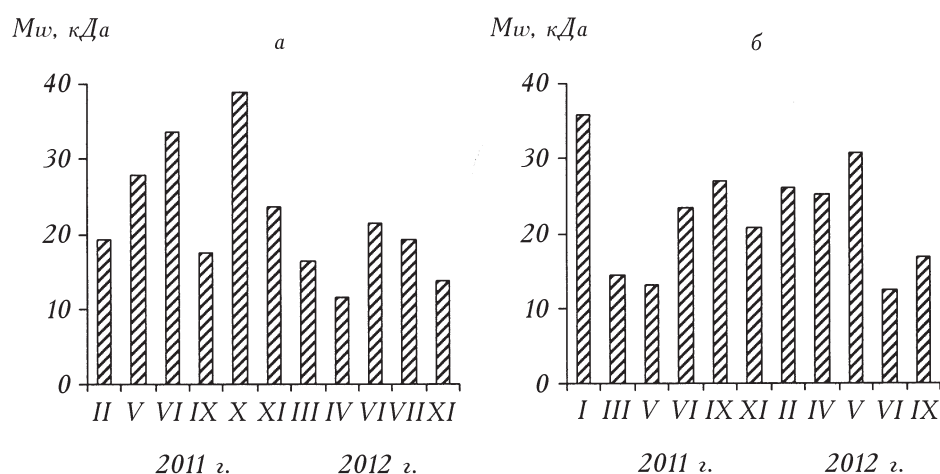
Результаты исследования молекулярно-массового распределения растворенных БПВ были использованы нами в расчетах их среднемассовой молекулярной массы ( $M_w$ ). Соответствующие данные приведены в табл. 4, из которых следует, что  $M_w$  белковых соединений в исследованных нами водных объектах находится в довольно широком диапазоне величин — от 11,6 до 43,0 кДа. В то же время, в озерных водах Китая растворенные БПВ, по результатам флуоресцентных исследований, были представлены соединениями с меньшей среднемассовой молекулярной массой (около 3,0 кДа) [48]. Фракционный состав этих соединений был следующим: > 3,0 кДа — 12,4—18,6%, 3—2 кДа — 44,3—54,7%, 2—1 кДа — 16,8—21,5% и < 1,0 кДа — 15,6—16,1%. Как видим, наибольшей оказалась фракция с молекулярной массой 3—2 кДа.

Можно говорить и о сезонных изменениях среднемассовой молекулярной массы (рис. 5), что связано, вероятней всего, с протеканием перечисленных выше процессов. Не исключено, что в процессе экскреции БПВ среди них преобладают высокомолекулярные соединения. Однако по мере их деструкции образуется значительная часть веществ с относительно невысокой молекулярной массой, а это накладывает свой отпечаток на величину  $M_w$ , которая может заметно уменьшаться. С другой стороны, ассимиляция гидробионтами белковых соединений с меньшей молекулярной массой приводит к тому, что в водной среде остаются доминирующими высокомолекулярные соединения, а это, в свою очередь, обуславливает увеличение  $M_w$ .

#### Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены содержание, внутригодовые изменения концентрации и особенности распределения БПВ среди различных по молекулярной массе фракций в водных объектах раз-





5. Внутригодовая динамика среднемассовой молекулярной массы растворенных БПВ, содержащихся в воде р. Рось (а) и Тернопольского водохранилища (б).

личного типа. Содержание этой группы РОВ в исследуемых водоемах и водотоках характеризуется сравнительно невысокими величинами, редко превышающими  $1,0 \text{ мг/дм}^3$ . В течение года их концентрация существенно меняется, что связано с развитием биотической составляющей. Наименьшие значения характерны, как правило, для зимнего сезона, а максимальные обнаружены в весенне-летний период года в связи с активизацией развития гидробиоты, прежде всего планктонных организмов. Содержание БПВ в значительной степени зависит от трофического статуса водного объекта. Наибольшие концентрации этих органических веществ характерны для водохранилищ Днепровского каскада и озерных систем г. Киева. В то же время относительное содержание БПВ в общем балансе РОВ не превышает в среднем  $2,6\% C_{\text{орг}}$ , что обусловлено их неустойчивостью под воздействие абиотических и биотических факторов водной среды, деструкцией и образованием более простых соединений, которые активно усваиваются развивающимися гидробионтами.

Результаты гель-хроматографических исследований показали, что БПВ, находящиеся в исследованных водных объектах, — это в основном высокомолекулярные соединения, характеризующиеся довольно широким интервалом молекулярной массы — от  $< 1,0$  до  $> 70,0$  кДа. Об этом свидетельствуют также результаты расчета среднемассовой молекулярной массы ( $M_w$ ) исследованных белковых соединений. Оказалось, что она составляет от  $11,6$  до  $43,0$  кДа. В то же время среди БПВ значительную часть занимает фракция соединений с молекулярной массой  $< 5,0$  кДа — в среднем  $39,3$ — $57,9\%$  их общего содержания. По всей видимости, в процессе экскреции БПВ фитопланктоном и другими водными организмами большая их часть имеет высокую молекулярную массу. Однако по мере протекания ферментативного гидролиза образуются соединения с меньшей молекулярной массой. В наибольшей степени это ощутимо в весенне-летний период года. Поэтому следовало бы ожидать в это время преобладания именно этих веществ. Однако результаты исследований показывают, что подобное явление не всегда имеет четкую сезонную выраженность, поскольку происходит не

только расщепление высокомолекулярных белковых соединений, но и активная ассимиляция развивающимися гидробионтами образующихся низкомолекулярных продуктов их трансформации.

\*\*

*Узагальнонено результати досліджень розчинених білковоподібних речовин у поверхневих водних об'єктах різного типу (озера, річки, водосховища). Показано, що концентрація розчинених органічних речовин цієї групи у поверхневих водах України характеризується порівняно невисокими показниками — від 0,03 до 1,41 мг/дм<sup>3</sup>. Їхня частка становить 0,3—7,8% загального вмісту вуглецю розчинених органічних речовин ( $C_{орг}$ ), не перевищуючи у середньому 2,6%  $C_{орг}$ . Вміст білковоподібних речовин у воді залежить від трофічного статусу водного об'єкта та, відповідно, інтенсивності розвитку гідробиоти. Мінімальні концентрації сполук білкової природи припадають на зимовий період, а максимальні — на весняно-літній. Білковоподібні речовини, що містяться у поверхневих водах, характеризуються широким діапазоном молекулярної маси — від  $< 1,0$  до  $> 70,0$  кДа. Серед широкого різноманіття фракцій переважають сполуки з молекулярною масою  $< 1,0$  кДа. Максимальний сумарний вміст фракцій білкових сполук з молекулярною масою  $\leq 5,0$  кДа досягає 45—72% у загальному балансі розчинених білковоподібних речовин. Наведено також інформацію про середньомасову молекулярну масу ( $M_w$ ) білкових сполук та можливі причини її мінливості.*

\*\*

*The results of studies of protein-like substances dissolved in the surface water bodies of different types (lakes, rivers, reservoirs) are generalized. It is shown that the concentration of this group of dissolved organic matter in surface water of Ukraine is characterized by relatively low values — from 0,03 to 1,41 mg/dm<sup>3</sup>. Their share is 0,3—7,8 % of the total carbon content of dissolved organic matter ( $C_{org}$ ), not exceeding an average of 2,6 %  $C_{org}$ . The content of proteinaceous compounds in water depends on the trophic status of the water body and hence the intensity of hydrobiota development. The minimum concentration of the compounds of protein nature occurs in the winter, while the maximum is typical for spring and summer. Protein-like substances founding in surface waters characterized by a wide range of molecular weights — from  $< 1,0$  up to  $> 70,0$  kDa. Among the wide variety of compounds the fraction with a molecular weight  $< 1,0$  kDa is predominated. The maximum total content of protein compound fractions with a molecular weight of  $\leq 5,0$  kDa reaches to 45—72 % in the overall balance of the dissolved protein-like substances. Data about average molecular weight ( $M_w$ ) of protein-like compounds and possible causes its variability is presented as well.*

\*\*

1. Биохимия синезеленых водорослей. — Киев: Наук. думка, 1978. — 264 с.
2. 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.
3. Дебейко Е.В., Рябов А.К., Набиванец Б.И. Прямое фотометрическое определение растворимых белков в природных водах // Там же. — 1973. — Т. 9, № 6. — С. 109—113.

4. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1989. — 216 с.
5. Коновалов Ю.Д. Анионная и катионная формы белков в водах Десны и Днепра на участке нижнего бьефа Киевского водохранилища // Гидробиол. журн. — 1995. — Т. 31, № 2. — С. 82—95.
6. 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. Біол. — 2010. — № 2(43). — С. 327—330.
7. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 270 с.
8. 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.
9. Лукьянова О.Н. Гидрохимическая основа биопродуктивности нерестово-выростных лососевых озер: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 2007. — 22 с.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 542 с.
15. Рябов А.К., Сиренко Л.А. Искусственная аэрация природных вод. — Киев: Наук. думка, 1982. — 204 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. Физиологические основы размножения синезеленых водорослей в водохранилищах. — Киев: Наук. думка, 1972. — 204 с.
18. 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.
19. *Aquatic ecosystems: interactivity of dissolved organic matter* / Ed. by S. E. G. Findlay, R. L. Sinsabaugh. — San Diego: Acad. Press, 2003. — 512 p.

20. *Berman T., Bronk D.A.* Dissolved organic nitrogen: a dynamic participant in aquatic ecosystems // *Aquat. Microbiol. Ecol.* — 2003. — Vol. 31. — P. 279—305.
21. *Chen Y., Yang G.-P., Wu G.-W. et al.* Concentration and characterization of dissolved organic matter in the surface microlayer and subsurface water of the Bohai Sea, China // *Continental Shelf Res.* — 2013. — Vol. 52. — P. 97—107.
22. *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.
23. *Coffin R.B.* Bacterial uptake of dissolved free and combined amino acids in estuarine waters // *Limnol. Oceanogr.* — 1989. — Vol. 34, N 3. — P. 531—542.
24. *Freese H.M., Görs S., Karsten U., Schumann R.* Dissolved inorganic nutrients and organic substrates in the River Warnow (North-Eastern Germany) — utilisation by bacterioplankton // *Limnologica.* — 2007. — Vol. 37. — P. 264—277.
25. *Görs S., Rentsch D., Schiewer U. et al.* Dissolved organic matter along the eutrophication gradient of the Darå-Zingst Bodden Chain, Southern Baltic Sea: I. Chemical characterisation and composition // *Mar. Chem.* — 2007. — Vol. 104. — P. 125—142.
26. *Hama T., Handa N.* Molecular weight distribution and characterization of dissolved organic matter from lake waters // *Arch. Hydrobiol.* — 1980. — Vol. 90. — P. 106—120.
27. *Hama T., Handa N.* The seasonal variation of organic constituents in a eutrophic lake, Lake Suwa, Japan. Part II. Dissolved organic matter // *Ibid.* — 1983. — Vol. 98, N 4. — P. 443—462.
28. *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.
29. *Hubberten U., Lara R.J., Kattner G.* Refractory organic compounds in polar waters: relationship between humic substances and amino acids in the Arctic and Antarctic // *J. Mar. Res.* — 1995. — Vol. 53. — P. 137—149.
30. *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.
31. *Jørgensen N.O.G.* Free amino acids in lakes: concentrations and assimilation rates in relation to phytoplankton and bacterial production // *Limnol. Oceanogr.* — 1987. — Vol. 32, N 1. — P. 97—111.
32. *Jørgensen N.O.G., Tranvik L.J.* Occurrence and bacterial cycling of dissolved nitrogen in the Gulf of Riga, the Baltic Sea // *Mar. Ecol. Progress Ser.* — 1999. — Vol. 191. P. 1—18.
33. *Lara R.J., 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.

34. *Linnik P.N., Vasil'chuk T.A.* Nitrogenous organic matter in the water of the Dnieper reservoirs // *Hydrobiol. J.* — 1997. — Vol. 33, N 5. — P. 22—29.
35. *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.
36. *Münster U.* Concentrations and fluxes of organic carbon substrates in the aquatic environment // *Antonie van Leeuwenhoek.* — 1993. — Vol. 63. — P. 243—274.
37. *Ochiai M., Nakajima T., Hanya T.* Chemical composition of labile fractions in DOM // *Hydrobiologia.* — 1980. — Vol. 71. — P. 95—97.
38. *Rosenstock B., Simon M.* Use of dissolved combined and free amino acids by planktonic bacteria in Lake Constance // *Limnol. Oceanogr.* — 1993. — Vol. 38, N 7. — P. 1521—1531.
39. *Simon M.* Bacterioplankton dynamics in a large mesotrophic lake: II. Concentrations and turnover of dissolved amino acids // *Arch. Hydrobiol.* — 1998. — Vol. 144. — P. 1—23.
40. *Steinberg C.* Schwerabbaubare, stickstoffhaltige gelijste organische Substanzen in Schijhsee und in Algenkulturen // *Arch. Hydrobiol. (Suppl.)*. — 1977. — Vol. 53. — P. 48—158.
41. *Stepanauskas R., Laudon H., Jørgensen N.O.G.* High DON bioavailability in boreal streams during a spring flood // *Limnol. Oceanogr.* — 2000. — Vol. 45, N 6. — P.1298—1307.
42. *Striquer-Soares F., Chevotot 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.
43. *Thurman E. M.* Organic geochemistry of natural waters. — Dordrecht: Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk publishers, 1985. — 497 p.
44. *Volk C.J., Volk C.B., Kaplan L.A.* Chemical composition of biodegradable dissolved organic matter in streamwater // *Limnol. Oceanogr.* — 1997. — Vol. 42, N 1. — P. 39—44.
45. *Weiss M., Simon M.* Consumption of labile dissolved organic matter by limnetic bacterioplankton: the relative significance of amino acids and carbohydrates // *Aquatic Microbiol. Ecology.* — 1999. — Vol. 17. — P. 1—12.
46. *Wilkinson K.J., Joz-Roland A., Buffle J.* Different roles of pedogenic fulvic acids and aquagenic biopolymers on colloid aggregation and stability in freshwaters // *Limnol. Oceanogr.* — 1997. — Vol. 42, N 8. — P. 1714—1724.
47. *Zhang S., Gan W.-B., Ittekkot V.* Organic matter in large turbid rivers: the Huanghe and its estuary // *Mar. Chem.* — 1992. — Vol. 38. — P. 53—68.
48. *Yue L., Wu F., Liu C. et al.* Relationship between fluorescence characteristics and molecular weight distribution of natural dissolved organic matter in Lake Hongfeng and Lake Baihua, China // *Chin. Sci. Bull.* — 2006. — Vol. 51, N 1. — P. 89—96.