

УДК [(546.17 + 546.18):581.526.32]285.33

*В. И. Щербак, В. М. Якушин, А. М. Задорожная,  
Н. Е. Семенюк, М. И. Линчук*

**СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА  
ФИТОПЛАНКТОНА, ФИТОМИКРОЭПИФИТОНА И  
БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА РЕЧНОМ УЧАСТКЕ  
КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Установлено, что развитие фитопланктона и фитомикроэпифитона речного участка Каневского водохранилища характеризуется хорошо выраженной сезонной динамикой, в значительной степени определяемой содержанием в воде неорганических форм азота и фосфора. В межгодовом аспекте содержание пула неорганического азота и фосфора изменяется незначительно, что позволяет утверждать о стабилизации их содержания в днепровской воде. Показано, что отношение N : P значительно уменьшилось по сравнению с 60—70-ми годами прошлого столетия, достигая минимальных значений —  $6,6 \pm 0,43$  — в летний и максимальных —  $32,3 \pm 2,6$  — в зимний период. Между качественными и количественными показателями фитопланктона, фитомикроэпифитона и содержанием биогенных элементов установлен ряд корреляционных взаимосвязей, указывающих на динамические отношения в системе «водорослевые сообщества ↔ биогенные элементы».

*Ключевые слова:* фитопланктон, фитомикроэпифитон, биогенные элементы, Каневское водохранилище, речной участок.

Среди многочисленных факторов, определяющих качественное и количественное разнообразие водорослевых сообществ разных экологических групп в водоемах и водотоках, наиболее важным является содержание биогенных элементов — азота и фосфора [16—18]. Исследование этих показателей приобретает особую актуальность для основного водного объекта Украины — каскада днепровских водохранилищ, в которых фитопланктону и фитомикроэпифитону принадлежит ведущая роль в формировании биоразнообразия, продукции, процессов самоочищения-самозагрязнения, качества водной среды.

Не менее важной причиной необходимости рассмотрения этих вопросов является то, что основные исследования взаимоотношений в системе «водоросли ↔ биогенные элементы» в днепровских водохранилищах проводились в 60—70-е гг. прошлого столетия [1, 2, 6, 7, 9, 10]. Анализ многолетней сукцессии фитопланктона [11, 13] и фитомикроэпифитона [3, 14] показывает, что это был период становления экосистем днепровских водохранилищ

© В. И. Щербак, В. М. Якушин, А. М. Задорожная, Н. Е. Семенюк,  
М. И. Линчук, 2015

(в первые годы их существования). При этом, большинство аналитических материалов, представленных в этих литературных источниках, было получено до создания Каневского водохранилища как такового, введение которого привело к стабилизации гидроэкологического состояния днепровской гидроэкосистемы [12].

На современном этапе сукцессии экосистем днепровских водохранилищ происходят изменения в системе  $N : P$  в сторону уменьшения этого отношения [4], по сравнению с данными, приведенными ранее [6]. Также необходимо учитывать, что изменились источники поступления в водохранилища биогенных элементов, особенно это характерно для соединений фосфора, значительная часть которых поступает в водную среду в составе бытовых детергентов.

Принимая во внимание высокую сезонную динамичность содержания в воде соединений биогенных элементов и, соответственно, количественных и качественных характеристик водорослевых сообществ, для получения репрезентативных данных представляется целесообразным использовать результаты многолетнего комплексного ежесезонного гидроэкологического мониторинга, полученные на станции наблюдений конкретного днепровского водохранилища. Преимущества такого подхода обусловлены тем, что фрагментарные данные, полученные в разные сезоны на разнотипных водохранилищах каскада, которые значительно отличаются как по содержанию биогенных элементов, так и по разнообразию альгофлоры, существенно затрудняют получение репрезентативных данных.

Целью данной работы является установление основных закономерностей соотношений в системе «биогенные элементы  $\leftrightarrow$  водоросли различных экологических групп», их сезонной и межгодовой динамики на примере речного участка Каневского водохранилища.

**Материал и методика исследований.** В работе представлены результаты ежесезонного комплексного гидроэкологического мониторинга, проведенного в 2009—2011 гг. на речной части Каневского водохранилища, на стационарной станции, расположенной на расстоянии 11 км вниз по течению от плотины Киевской ГЭС. Весь комплекс гидроэкологических работ производился одновременно, в период 11—12 ч дня с интервалом в две недели во все сезоны года.

Пробы воды для гидрохимического анализа отбирали<sup>1</sup> батометром Рутнера объемом 5,0 дм<sup>3</sup> с глубины 0,25 м. Содержание неорганических форм азота ( $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ) и фосфора ( $P_{неорг}$ ) определяли согласно общеизвестным методам [5].

Из этого же батометра отбирали пробу воды объемом 0,5 дм<sup>3</sup>, которую после фиксации 40%-ным формалином использовали для определения видо-

<sup>1</sup> Авторы выражают благодарность н. с., к. б. н. К. П. Калениченко, м. н. с. А. Б. Примаку за оказанную помощь при отборе проб и их транспортировке в Институт гидробиологии НАН Украины.

вого состава, численности, биомассы фитопланктона. Детальное описание камеральной обработки проб фитопланктона приведено нами ранее [5].

Параллельно отбирали пробы фитомикроэпифитона с доминирующей в этом биотопе ассоциации рдеста пронзеннолистного согласно ранее приведенным методикам [15].

Доминирующими видами водорослей считали виды, составляющие более 10% биомассы или численности фитопланктона и фитомикроэпифитона, а субдоминантами — не менее 5%. Математическую обработку полученных данных проводили с помощью программных пакетов Microsoft Excel, Past, Statistica.

### *Результаты исследований и их обсуждение*

*Биогенные элементы.* В исследованный период в воде речного участка Каневского водохранилища концентрация неорганических форм азота была различной в сезонном и межгодовом аспектах.

В таблице 1 представлены пределы колебаний: минимальные, максимальные и средние концентрации в воде всех трех форм азота в течение периода проведения мониторинга.

Ранжирование всего массива данных мониторинга показывает, что как максимальными, так и наибольшими средними за год значениями характеризовалось содержание аммонийного азота. Значительно ниже была концентрация его нитратной формы. Наиболее низкими величинами практически на порядок ниже первых двух, было содержание нитритной формы азота. Необходимо отметить, что данная закономерность, в основном, больше характерна для данных, полученных в различные годы исследований.

Важным показателем, позволяющим характеризовать весь пул неорганических форм азота, является его общее (суммарное) количество. Эта величина составляла: в 2009 г. —  $0,70 \pm 0,09$  мг N/дм<sup>3</sup>, в 2010 г. —  $0,67 \pm 0,07$  и в 2011 г. —  $0,61 \pm 0,08$  мг N/дм<sup>3</sup>.

По нашему мнению, довольно близкое среднее суммарное содержание неорганического азота позволяют утверждать об относительной гидрохимической стабилизации исследованной экосистемы и отсутствии регулярных значительных (залповых) сбросов соединений азота на речном участке Каневского водохранилища.

Несмотря на определенную многолетнюю стабильность пула неорганического азота, представляется необходимым проанализировать его сезонную динамику и, соответственно, сезонную динамику его неорганических форм. Анализ представленных данных показывает значительную сезонную изменчивость содержания в воде как всех неорганических форм, так и общего азота. При этом для каждой неорганической формы характерны свои особенности. Так, из всех форм наибольшими величинами во все сезоны характеризовалось содержание аммонийного азота, а наименьшим — нитрит-

**1. Содержание неорганических форм азота (мг N/дм<sup>3</sup>) в воде речного участка Каневского водохранилища в период 2009—2011 гг.**

Годы	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>неорг</sub>
2009 г.	0,179 – 0,559	0,0 – 0,195	0,031 – 0,405	0,21 – 1,49
	0,373 ± 0,03	0,021 ± 0,01	0,304 ± 0,07	0,70 ± 0,09
2010 г.	0,154 – 0,817	0,0 – 0,181	0,042 – 0,819	0,26 – 1,30
	0,413 ± 0,04	0,025 ± 0,01	0,23 ± 0,05	0,67 ± 0,07
2011 г.	0,153 – 1,253	0,0 – 0,328	0,043 – 0,721	0,29 – 1,32
	0,391 ± 0,06	0,042 ± 0,02	0,174 ± 0,04	0,61 ± 0,08

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

ного, причем в поздневесенний, раннеосенний и летние сезоны в отобранных пробах фиксировались лишь его «следовые» количества.

*Азот и фитопланктон.* Очевидно, что сезонные различия в количественном содержании неорганических форм азота, их соотношении в воде являются результирующей сложных составляющих гидрохимического круговорота, а также биохимических процессов в системе «азот водной среды ↔ растительная клетка», зависящих от целой гаммы процессов сорбции ↔ десорбции азота и различной интенсивности его потребления отдельными водорослями планктона и эпилитона. Считаем, что интегральным показателем, наиболее четко характеризующим сезонную динамику неорганического азота, являются данные на уровне пула суммарного азота.

Поэтому представляет определенный интерес рассмотреть сезонную динамику общего неорганического азота (N<sub>неорг</sub>) и основного его потребителя — фитопланктона по показателям количественного разнообразия (численности и биомассы).

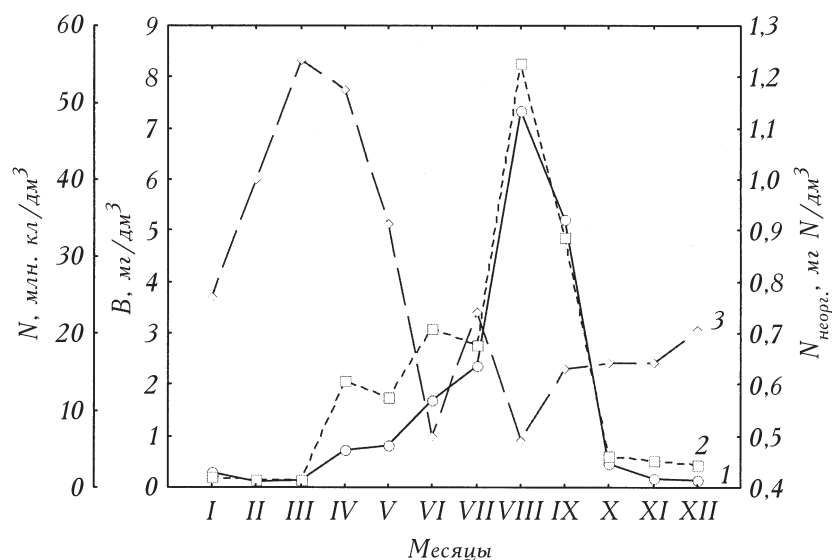
Сравнительный анализ этих показателей (неорганического азота и водорослей) показывает, что их сезонная динамика находится в определенной антифазе (рис. 1).

Важным методическим нюансом является то, что при проведении сравнительного анализа сезонной динамики в системе «биогеенный элемент ↔ водоросли» необходимо учитывать временной эффект, который проявляется в том, что вначале происходит процесс ассимиляции биогеенных элементов растительной клеткой для обеспечения процессов формирования энергетического потенциала и новосинтезированного вещества и только через определенный временной интервал проходит увеличение количественного разнообразия — численности и биомассы. В целом, мы придерживаемся точки зрения А. В. Курейшевича [4], и для получения репрезентативных сравнительных данных был использован «временной шаг» данных, равный одному месяцу. Поэтому проводилось сравнение биогеенных элементов за январь с фитопланктоном за февраль и т. д.

**2. Сезонная динамика содержания общего неорганического азота и его форм (мг N/дм<sup>3</sup>) в 2009—2011 гг.**

Сезоны	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>неорг</sub>
2009 г.				
Зима	0,179 – 0,486	0,006 – 0,046	0,344 – 0,843	0,53 – 1,35
	0,357 ± 0,09	0,032 ± 0,01	0,670 ± 0,16	1,06 ± 0,27
Весна	0,210 – 0,558	0,005 – 0,032	0,040 – 0,905	0,36 – 1,49
	0,389 ± 0,05	0,019 ± 0,01	0,511 ± 0,13	0,92 ± 0,17
Лето	0,184 – 0,545	0,0 – 0,007	0,031 – 0,058	0,22 – 1,21
	0,278 ± 0,05	0,002 ± 0,001	0,043 ± 0,001	0,32 ± 0,05
Осень	0,196 – 0,559	0,0 – 0,021	0,074 – 0,743	0,32 – 1,21
	0,438 ± 0,05	0,006 ± 0,001	0,194 ± 0,11	0,64 ± 0,12
2010 г.				
Зима	0,395 – 0,515	0,009 – 0,195	0,192 – 0,819	0,90 – 1,22
	0,472 ± 0,04	0,079 ± 0,06	0,511 ± 0,18	1,06 ± 0,09
Весна	0,436 – 0,698	0,0 – 0,181	0,074 – 0,598	0,53 – 1,30
	0,575 ± 0,04	0,038 ± 0,03	0,281 ± 0,09	0,89 ± 0,13
Лето	0,260 – 0,817	0,0 – 0,005	0,042 – 0,096	0,34 – 0,91
	0,449 ± 0,09	0,001 ± 0,001	0,073 ± 0,01	0,52 ± 0,09
Осень	0,154 – 0,406	0,0 – 0,019	0,078 – 0,280	0,26 – 0,71
	0,247 ± 0,04	0,009 ± 0,003	0,157 ± 0,05	0,41 ± 0,07
2011 г.				
Зима	0,230 – 0,337	0,043 – 0,328	0,242 – 0,514	0,65 – 1,06
	0,280 ± 0,02	0,176 ± 0,05	0,364 ± 0,05	0,82 ± 0,08
Весна	0,271 – 0,564	0,001 – 0,171	0,047 – 0,721	0,40 – 1,19
	0,402 ± 0,04	0,036 ± 0,03	0,258 ± 0,11	0,70 ± 0,14
Лето	0,251 – 1,253	0,0 – 0,0	0,043 – 0,072	0,29 – 1,32
	0,562 ± 0,19	0,0 ± 0,0	0,058 ± 0,004	0,62 ± 0,19
Осень	0,153 – 0,438	0,0 – 0,006	0,045 – 0,218	0,29 – 0,49
	0,265 ± 0,04	0,001 ± 0,001	0,098 ± 0,03	0,36 ± 0,03

Максимальное содержание неорганического азота были зарегистрировано зимой — в период минимального количественного разнообразия фитопланктона. Весенняя интенсивность развития фитопланктона приводила к снижению содержания неорганического азота и формированию весеннего минимума, в то время как в фитопланктоне максимально развивались весенние формы диатомовых водорослей родов *Asterionella* Hass., *Cyclotella* Kütz., *Navicula* Bory, *Nitzschia* Hass., *Stephanodiscus* Ehr., *Synedra* Ehr. и зеленых — родов *Chlamydomonas* Ehr., *Closteriopsis* Lemm., *Desmodesmus* (Chod.)



1. Динамика численности ( $N$ , 1) и биомассы ( $B$ , 2) фитопланктона и концентрации неорганического азота ( $N_{\text{неорг.}}$ , 3) в 2009—2011 гг. (средние значения).

*An. Friedl et Hegew., Monoraphidium* Kom.-Leng., достигая биомассы от 0,14 до 2,08 мг/дм<sup>3</sup> и численности от 1,00 до 5,49 млн. кл./дм<sup>3</sup>, что формировало весенний максимум фитопланктона.

Дальнейшее повышение уровня развития фитопланктона обусловлено доминированием в июне летних форм диатомовых — в основном это виды родов *Aulacoseira* Thw. и *Melosira* Ag. Максимальное летнее развитие диатомового фитопланктона и вхождение в доминирующий комплекс синезеленых водорослей родов *Anabaena* Bory ex Born. et Flach и *Microcystis* (Kütz.) Elenk. приводит к возрастанию биомассы фитопланктона до максимальных величин —  $8,26 \pm 1,21$  мг/дм<sup>3</sup> и численности до  $49,02 \pm 3,55$  млн. кл./дм<sup>3</sup> и, соответственно, к формированию второго (летнего) минимума содержания азота.

С наступлением осени происходит резкое снижение численности и биомассы фитопланктона — соответственно до  $1,14 \pm 0,28$  млн. кл./дм<sup>3</sup> и  $0,51 \pm 0,19$  мг/дм<sup>3</sup>, что вызывает формирование осенне-зимнего максимума концентрации азота.

**Фосфор и фитопланктон.** Не менее важным биогенным элементом является неорганический фосфор. Минимальная концентрация неорганического фосфора регистрировалась от «следовых» величин до 0,01—0,02 мг P/дм<sup>3</sup>, а максимальная — до 0,10—0,12 мг P/дм<sup>3</sup>. Усредненные величины в разные годы исследований составляли: в 2009 г. —  $0,04 \pm 0,006$  мг P/дм<sup>3</sup>, а в 2010—2011 гг. эти показатели были практически равнозначны — соответственно  $0,05 \pm 0,008$  и  $0,05 \pm 0,009$  мг P/дм<sup>3</sup>.

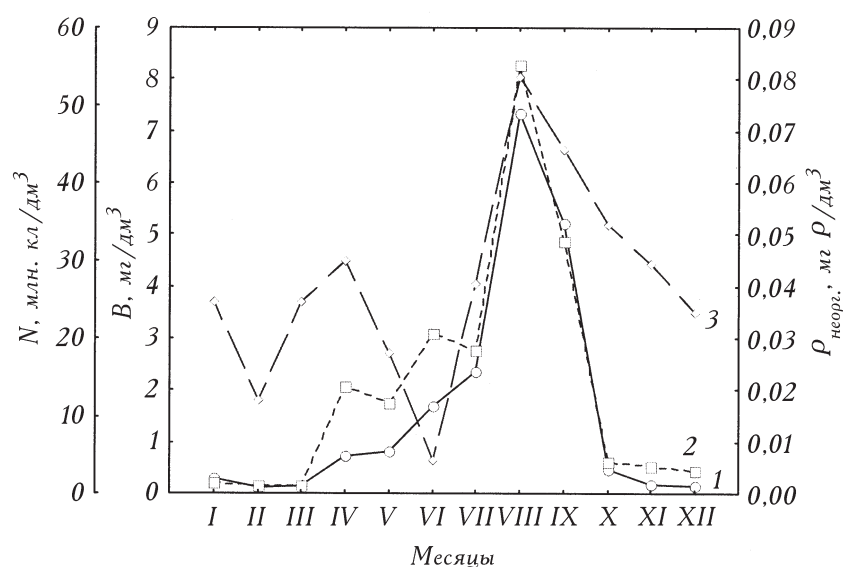
3. Сезонная динамика содержания  $P_{\text{неорг}}$  (мг P/дм<sup>3</sup>) в 2009—2011 гг.

Годы	Сезоны	$P_{\text{неорг}}$
2009 г.	Зима	$0,02 - 0,05$
		$0,04 \pm 0,01$
	Весна	$0,01 - 0,06$
		$0,03 \pm 0,01$
Лето	$0,03 - 0,11$	
	$0,06 \pm 0,01$	
2010 г.	Зима	$0,01 - 0,03$
		$0,02 \pm 0,01$
	Весна	$0,0 - 0,06$
		$0,03 \pm 0,01$
Лето	$0,05 - 0,13$	
	$0,09 \pm 0,01$	
Осень	$0,02 - 0,12$	
	$0,05 \pm 0,02$	
2011 г.	Зима	$0,01 - 0,04$
		$0,03 \pm 0,01$
	Весна	$0,0 - 0,04$
		$0,02 \pm 0,01$
Лето	$0,01 - 0,12$	
	$0,08 \pm 0,02$	
Осень	$0,02 - 0,12$	
	$0,06 \pm 0,02$	

Известно, что содержание растворенного фосфора характеризуется хорошо выраженной сезонной динамикой [2]. В таблице 3 приведены минимальные, максимальные и средние концентрации неорганического фосфора в разные сезоны года.

Взаимосвязь между количественным разнообразием фитопланктона (численностью и биомассой) и содержанием неорганического фосфора представлена на рисунке 2.

Из представленного графика видно, что для неорганического фосфора характерна высокая динамичность в чередовании его минимального и максимального содержания.



2. Динамика численности ( $N$ , 1) и биомассы ( $B$ , 2) фитопланктона и концентрации неорганического фосфора ( $P_{\text{неорг.}}$ , 3), в 2009—2011 гг. (средние значения).

Представляет также интерес, проанализировать отношение  $N : P$ . Его максимальные значения характерны для зимнего периода, минимальные — для летнего. В целом, рассчитанное для всех сезонов года среднее отношение для всей выборки данных составляло  $17,5 \pm 1,2$ .

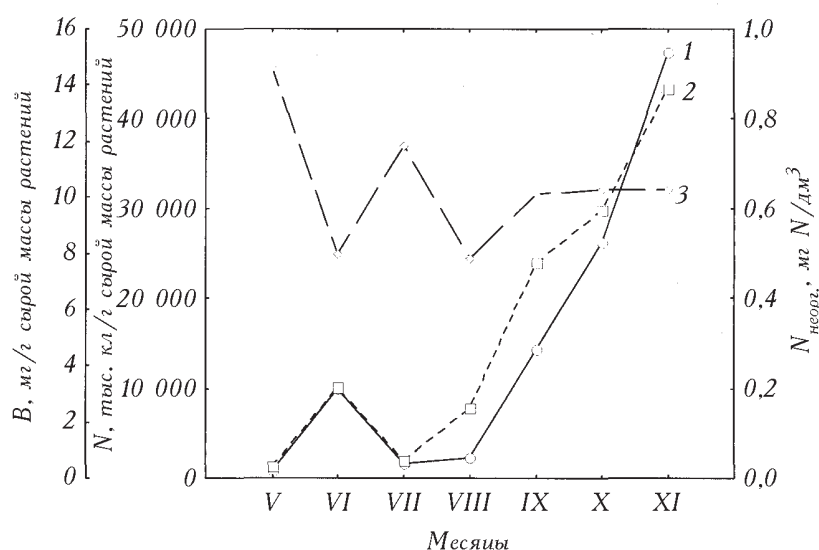
Отношение  $N : P$  в 2009—2011 гг. составляло зимой 13—65 (в среднем  $32,3 \pm 2,6$ ), весной — 0—37 ( $21,5 \pm 1,80$ ), летом — 3—12 ( $6,6 \pm 0,4$ ) и осенью — 2—32 ( $17 \pm 0,9$ ).

Сопоставление полученных данных с аналогичными, характеризующими отношение  $N : P$  в днепровских водохранилищах на первых этапах существования Днепровского каскада [6], показывает существенное снижение этого показателя на современном этапе сукцессии экосистем днепровских водохранилищ. Это позволяет утверждать о снижении лимитирующей роли фосфора в районе среднего Днепра, о которой утверждала А. Д. Приймаченко [6] в период 60—70-х годов прошлого столетия. Наши данные о снижении отношения  $N : P$  в днепровской воде согласуются с данными А. В. Курейшевич [4].

Изложенные многолетние данные по динамике фосфора, особенно средние за год величины, также позволяют констатировать определенную стабилизацию круговорота фосфора в Каневском водохранилище.

*Взаимоотношения фитомикроэпифитона и биогенных элементов.* Аналогичный, как для фитопланктона, методический подход был использован и для анализа взаимоотношений в системе «фитомикроэпифитон ↔ биогенные элементы».





3. Динамика численности ( $N$ , 1) и биомассы ( $B$ , 2) фитомикроэпифитона и концентрации неорганического азота ( $N_{\text{неорг}}$ , 3) в 2009—2011 гг. (средние значения).

На рисунке 3 представлена взаимосвязь между содержанием неорганического азота, численностью и биомассой фитомикроэпифитона, развивающегося на рдесте пронзеннолистном на речном участке Каневского водохранилища в различные сезоны 2009—2011 гг. Сравнительный анализ пространственно-временного распределения для  $N_{\text{неорг}}$ , численности и биомассы фитомикроэпифитона, в основном, напоминает те же закономерности, что и для фитопланктона, но только с учетом того, что фитомикроэпифитон развивается на растении-эдификаторе (в данном случае это рдест пронзеннолистный), которое также имеет свою сезонную динамику развития.

Так, вегетация растения-эдификатора начинается в мае, соответственно происходит заселение (экспансия) новообразованного субстрата водорослями-обрастателями. В этот период численность и биомасса фитомикроэпифитона характеризуются минимальными значениями, а содержание неорганического азота максимально.

Интенсификация развития весенне-летних форм диатомей родов *Fragilaria* Lingb., *Gomphonema* Cl., *Navicula*, *Nitzschia* приводит к формированию их максимума с численностью  $9882 \pm 182$  тыс. кл./г сырой массы и биомассой  $3,21 \pm 0,4$  мг/г сырой массы растений.

Летний минимум вегетации фитомикроэпифитона обусловлен «выпадением» из его состава приведенных выше весенне-летних форм диатомовых водорослей на фоне увеличения количества неорганического азота в воде.

Осенняя перестройка качественного состава, существенное возрастание количественного развития обусловлены доминированием в фитомикроэпи-

фитоне осенних форм диатомовых водорослей родов *Achnanthes* Bory, *Aulacoseira*, *Cymbella* Ag., *Nitzschia*, *Staurósira* Ehr. emend Will. et Round. Этот период характеризуется снижением содержания неорганического азота.

Итак, можно утверждать, что в системе «фитомикроэпифитон ↔ неорганический азот» сезонная динамика азота определяется, в основном, интенсивностью развития диатомовых водорослей — основного доминирующего комплекса днепровского фитомикроэпифитона, что подтверждают и данные, полученные на Киевском [8] и Кременчугском водохранилище [15].

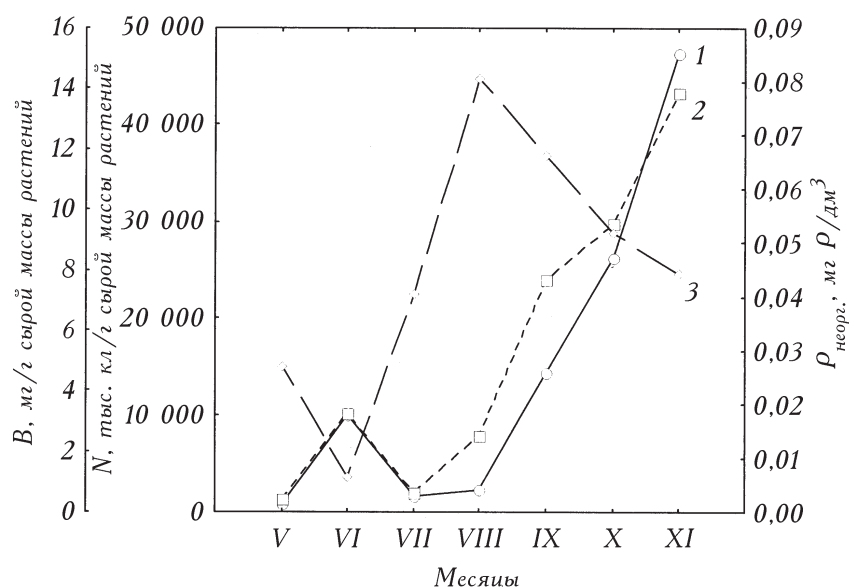
Аналогичный подход был использован и для анализа взаимоотношений в системе «неорганический фосфор ↔ эпифитон». На рис. 4 представлена зависимость численности и биомассы фитомикроэпифитона на рдесте пронзеннолистном на речном участке Каневского водохранилища от содержания неорганического фосфора в различные сезоны 2009—2011 гг.

В основном ход кривой сезонной динамики фосфора аналогичен таковому азота. Но, учитывая высокую динамичность круговорота фосфора, его интенсивную регенерацию при отмирании весенних форм водорослей, зоопланктона, простейших и других гидробионтов, регистрируется его интенсивное поступление в воду в летний период, что не характерно для неорганического азота.

Итак, обобщающий анализ данных, характеризующих взаимоотношения в системе «фитомикроэпифитон ↔ биогенные элементы» указывает на тесную взаимосвязь этих процессов. В то же время, можно утверждать, что на современном этапе ни азот, ни фосфор не являются факторами, лимитирующими вегетацию водорослей обрастаний.

Корреляционный анализ соотношения различных форм азота ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_{\text{неорг}}$ ) и неорганического фосфора ( $\text{P}_{\text{неорг}}$ ) с некоторыми структурно-функциональными характеристиками фитопланктона и фитомикроэпифитона дал следующие результаты (табл. 4, 5). Отмечено отсутствие каких либо корреляционных взаимосвязей между содержанием аммонийного азота и показателями качественного и количественного развития фитопланктона. Это позволяет говорить о том, что аммонийный азот, концентрация которого в воде Каневского водохранилища максимальна, не является экологическим фактором, лимитирующим развитие фитопланктона. В отличие от этого, для нитритного, нитратного азота и показателей общего видового разнообразия и разнообразия зеленых водорослей, а также таких количественных показателей, как численность и биомасса зеленых и диатомовых водорослей, суммарная биомасса фитопланктона существует отрицательная корреляционная зависимость.

Полученные зависимости указывают на большую лабильность в воде Каневского водохранилища нитритного и нитратного азота, в отличие от аммонийного. Также очевидно, что для фитопланктона предпочтительным источником азота являются его более окисленные формы.



4. Динамика численности ( $N$ , 1) и биомассы ( $B$ , 2) фитомикроэпифитона и концентрации неорганического фосфора ( $P_{\text{неорг}}$ , 3) в 2009—2011 гг. (средние значения).

В отличие от азота, установлена положительная связь между содержанием в воде неорганического фосфора и показателями качественного и количественного развития фитопланктона (см. табл. 4).

Полученные закономерности позволяют утверждать, что в настоящее время неорганический фосфор не является экологическим фактором, лимитирующим развитие фитопланктона речного участка Каневского водохранилища.

Для корреляционных отношений в системе «неорганический азот ↔ фитомикроэпифитон» отрицательная связь была получена между количеством внутривидовых таксонов диатомовых водорослей, их численностью и биомассой, суммарной биомассой фитомикроэпифитона и суммарным азотом и его аммонийной формой (см. табл. 5). Это позволяет утверждать, что для фитомикроэпифитона более предпочтительной формой является аммонийный азот.

Для этих же качественных и количественных показателей фитомикроэпифитона установлена позитивная корреляция с нитратным азотом. Установленные корреляционные отношения, в основном, для диатомовых водорослей объясняются тем, что они являются основным отделом, формирующим фитомикроэпифитон Каневского водохранилища. Для неорганического фосфора получена только положительная корреляция с биомассой зеленых водорослей.

**4. Корреляционные отношения между различными формами неорганического азота ( $\text{NH}^+$ ,  $\text{NO}^-$ ,  $\text{NO}^-$ ), суммарного азота ( $\text{N}_{\text{неорг.}}$ ), неорганического фосфора ( $\text{P}_{\text{неорг.}}$ ) и структурно-функциональными показателями фитопланктона**

Биогенные элементы	Количество видов			Численность			Биомасса				
	сумма	Суано-phyta	Chlorophyta	сумма	Суано-phyta	Vacillario-phyta	Chloro-phyta	сумма	Суано-phyta	Vacillario-phyta	Chloro-phyta
$\text{N}_{\text{неорг}}$ (n = 48)	$r = -0,25$ ; $p = 0,08$	—	$r = -0,35$ $p = 0,01$	—	—	$r = -0,42$ ; $p = 0,003$	$r = -0,28$ ; $p = 0,05$	—	—	$r = -0,40$ ; $p = 0,006$	$r = -0,25$ ; $p = 0,09$
$\text{NH}_4^+$ (n = 48)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\text{NO}_2^-$ (n = 48)	$r = -0,37$ ; $p = 0,01$	—	$r = -0,40$ ; $p = 0,005$	—	—	$r = -0,32$ ; $p = 0,02$	$r = -0,27$ ; $p = 0,06$	—	—	$r = -0,31$ ; $p = 0,03$	$r = -0,31$ ; $p = 0,03$
$\text{NO}_3^-$ (n = 48)	$r = -0,41$ ; $p = 0,004$	—	$r = -0,50$ $p = 0,0001$	—	—	$r = -0,45$ ; $p = 0,002$	$r = -0,37$ ; $p = 0,01$	$r = -0,31$ ; $p = 0,03$	—	$r = -0,41$ ; $p = 0,004$	$r = -0,42$ $p = 0,004$
$\text{P}_{\text{неорг}}$ (n = 48)	$r = 0,46$ ; $p = 0,001$	$r = 0,53$ ; $p = 0,0001$	$r = 0,48$ $p = 0,001$	$r = 0,42$ ; $p = 0,003$	$r = 0,39$ ; $p = 0,006$	$r = 0,26$ ; $p = 0,08$	$r = 0,47$ ; $p = 0,001$	$r = 0,47$ ; $p = 0,001$	$r = 0,37$ ; $p = 0,01$	$r = 0,28$ ; $p = 0,06$	$r = 0,52$ ; $p = 0,0001$

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 5 выделение курсивом указывает на существующую тенденцию к корреляционным отношениям.

**5. Корреляционные отношения между различными формами неорганического азота ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), суммарного азота ( $\text{N}_{\text{неорг}}$ ), неорганического фосфора ( $\text{P}_{\text{неорг}}$ ) и структурно-функциональными показателями фитомикроэпифитона**

Биогенные элементы	Количество видов	Численность	Биомасса		
	Bacillariophyta	Bacillariophyta	сумма	Bacillariophyta	Chlorophyta
$\text{N}_{\text{неорг}}$ ( $n = 25$ )	$r = -0,33$ $p = 0,1$	$r = -0,32$ $p = 0,1$	$r = -0,34$ $p = 0,09$	$r = -0,35$ $p = 0,09$	—
$\text{NH}_4^+$ ( $n = 25$ )	$r = -0,37$ $p = 0,07$	$r = -0,36$ $p = 0,08$	$r = -0,40$ $p = 0,05$	$r = -0,40$ $p = 0,04$	—
$\text{NO}_2^-$ ( $n = 25$ )	—	—	—	—	—
$\text{NO}_3^-$ ( $n = 25$ )	$r = 0,41$ $p = 0,04$	$r = 0,46$ $p = 0,02$	$r = 0,56$ $p = 0,004$	$r = 0,57$ $p = 0,003$	—
$\text{P}_{\text{неорг}}$ ( $n = 25$ )	—	—	—	—	$r = 0,44$ $p = 0,03$

Проведенный корреляционный анализ показал, что биогенные элементы имеют существенное значение в многолетней динамике фитомикроэпифитона речного участка Каневского водохранилища.

При этом необходимо учитывать, что приведенные в работе и использованные для корреляционного анализа величины для неорганических форм азота и фосфора являются «избыточным» их содержанием в воде. Поэтому можно утверждать, что на современном этапе сукцессии фитопланктона и фитомикроэпифитона азот и фосфор во все сезоны года не являются биогенными элементами, которые лимитируют развитие водорослей различных экологических групп верховьев Каневского водохранилища.

### Заключение

Результаты проведенных систематических исследований на речном участке Каневского водохранилища показали, что фитопланктон характеризуется хорошо выраженной сезонной динамикой с максимальными величинами качественного и количественного развития в летний и минимальными — в зимний период. Определенной противофазой с ним характеризуется содержание неорганических форм азота и неорганического фосфора. Средние величины пула неорганического азота составляли: в 2009 г. —  $0,70 \pm 0,09$  мг N/дм<sup>3</sup>, в 2010 г. —  $0,67 \pm 0,07$  и в 2011 г. —  $0,61 \pm 0,08$  мг N/дм<sup>3</sup>; неорганического фосфора: в 2009 г. —  $0,04 \pm 0,006$  мг P/дм<sup>3</sup>, в 2010 г. —  $0,05 \pm 0,008$  мг P/дм<sup>3</sup> и в 2011 г. —  $0,05 \pm 0,009$  мг P/дм<sup>3</sup>. Эти данные позволяют утверждать об определенной стабилизации круговорота неорганического азота и фосфора в Каневском водохранилище.

Анализ отношения N : P показывает его значительные колебания в сезонном аспекте, с минимальными значениями —  $6,6 \pm 0,4$  — в летний и максимальными —  $32,3 \pm 2,6$  — в зимний период. Сравнение полученных данных об отношении содержания азота и фосфора в воде с аналогичными для 60—70-х годов прошло-

го столетия показывает их существенное снижение и позволяет утверждать, что содержание неорганического фосфора на современном этапе сукцессии не является фактором, лимитирующим развитие водорослевых сообществ.

В результате проведенного корреляционного анализа получен ряд прямых и обратных корреляций, указывающих на сложную взаимосвязь в системе «водорослевые сообщества ↔ биогенные элементы».

\*\*

*Встановлено, що розвиток фітопланктону і фітомікроепіфітону річкової ділянки Канівського водосховища характеризується добре вираженою сезонною динамікою, яка в значній мірі визначається вмістом у воді неорганічних форм азоту і фосфору. У міжрічному аспекті вміст пулу неорганічних форм азоту і фосфору змінюється незначно, що дозволяє стверджувати про стабілізацію їхнього вмісту в дніпровській воді. Показано, що відношення N : P значно зменшилось порівняно з показником 60—70-х років минулого століття, досягаючи мінімальних значень  $6,6 \pm 0,43$  у літній і максимальних  $32,3 \pm 2,6$  — у зимовий період. Між фітопланктоном, фітомікроепіфітоном і вмістом біогенних елементів встановлено низку кореляційних взаємозв'язків, які вказують на динамічні відносини в системі «водоростеві угруповання ↔ біогенні елементи».*

\*\*

*Development of phytoplankton and phytomicroepiphyton in the river section of the Kaniv water reservoir is characterized by well marked seasonal dynamics, which to a great extent depends upon inorganic nitrogen and phosphorus content in water. In interannual aspect the pool of inorganic nitrogen and phosphorus concentration varies insignificantly, which makes it possible to state that their content in the Dniper water have become stable. The N : P ratio has been shown to fall down considerably, compared with 60—70s of the last century, with the minimal values ( $6,6 \pm 0,3$ ) observed in summer and the highest values ( $32,3 \pm 2,6$ ) — in winter. A number of correlations has been found between phytoplankton, phytomicroepiphyton and nutrient content, which indicate highly dynamical relations in the system «algal assemblages ↔ nutrients».*

\*\*

1. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1989. — 216 с.
2. Денисова А. И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. — Киев: Наук. думка, 1979. — 290 с.
3. Костикова Л. Е. Эпифитон Днепра и его водохранилищ // Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1989. — С. 48—76.
4. Курейшевич А. В. «Отклик» фитопланктона днепровских водохранилищ на увеличение содержания в воде азота и фосфора // Гидробиол. журн. — 2005. — Т. 41, № 4. — С. 3—23.
5. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — НАН України. Ін-т гідробіології. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.

6. *Приймаченко А. Д.* Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1981. — 278 с.
7. *Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ.* — Киев: Наук. думка, 1989. — 232 с.
8. *Семенюк Н. С.* Багаторічна динаміка фітомікроепіфітону Київського водосховища // Наук. зап. Тернопіль. держ. пед. ун-ту. Сер. : Біологія. Спец. випуск: Гідроекологія. — 2015. — № 3—4 (64). — С. 590—594.
9. «Цветение» воды / Под. ред. А. В. Топачевского. — Киев: Наук. думка, 1968. — 388 с.
10. «Цветение» воды / Под. ред. Л. А. Сиренко. — Киев: Наук. думка, 1969. — Вып. 2. — 268 с.
11. *Щербак В. И.* Многолетняя динамика «цветения» воды днепровских водохранилищ // Доп. НАН України. — 1998. — № 7. — С. 187—190.
12. *Щербак В. I.* Структурно-функціональна характеристика дніпровського фітопланктону : Автореф. дис. ... докт. біол. наук. — К., 2000. — 31 с.
13. *Щербак В. I.* Гідроекологічні аспекти вирішення проблеми оцінки та зменшення загроз біорізноманіттю континентальних водойм України // Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України. — К.: Хімджест, 2003. — С. 273—348.
14. *Щербак В. И., Семенюк Н. Е.* Использование фитомикрופерифитона для оценки экологического состояния антропогенно измененных водных экосистем // Гидробиол. журн. — 2011. — Т. 47, № 2. — С. 27—42.
15. *Щербак В. И., Семенюк Н. Е., Рудик-Леуская Н. Я.* Акваландшафтное и биологическое разнообразие Национального природного парка «Нижнесульский», Украина. — Киев: Фитосоцицентр, 2014. — 266 с.
16. *Levich A. P., Bulgakov N. G.* Regulation of species and size composition in phytoplankton communities in situ by N : P ratio // Russ. J. of Aquatic Ecology. — 1992. — Vol. 1, N 2. — P. 149—159.
17. *McQueen D. J., Lean D. R. S.* Influence of water temperature and N to P ratios on the dominance of blue-green algae in lake St. George, Ontario // Canad. J. of Fisheries and Aquatic Science. — 1987. — Vol. 44. — P. 598—604.
18. *Tilman D.* Resource competition between planktonic algae: an experimental and theoretical approach // Ecology. — 1977. — Vol. 58. — P. 338—348.