

УДК 581.526.325 (282.247.325.2)

В. И. Щербак, А. М. Задорожная

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА
КИЕВСКОГО УЧАСТКА КАНЕВСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА**

Установлено, что вегетационный сезон 2010 г. характеризовался аномально высокой температурой воды в летний и осенний периоды по сравнению со средними многолетними данными. Ответом фитопланктона было несколько пиков вегетации, которые значительно отличались структурой доминирующего комплекса видов и их количественным развитием.

Ключевые слова: фитопланктон, сезонная динамика, киевский участок Каневского водохранилища, аномально высокая температура воды.

Функционирование водных экосистем определяется автотрофными компонентами трофической цепи, основой которой является фитопланктон — продуцент органического вещества и кислорода в водоемах. Он непосредственно влияет на формирование качества воды, трофического статуса водоема и определяет экологическое состояние водной экосистемы в целом.

Структурные и функциональные показатели фитопланктона реагируют на все изменения в водоеме, определяя этим важную роль сообществ водорослей в системе экологического мониторинга, который ведется на киевском участке Каневского водохранилища.

Каневское водохранилище — относительно молодой водоём Днепровского каскада, созданный в 1972—1976 гг.. Под киевским участком Каневского водохранилища подразумевается верхняя его часть — 43 км вниз по течению от плотины Киевской ГЭС. Особенности его морфометрии и гидрологического режима приведены в ряде работ [2, 5, 9]. Видовой состав фитопланктона и его сезонные изменения были описаны до начала гидростроительства [6, 8], в период его становления [1, 10] и стабилизации [3]. Несмотря на то, что исследования фитопланктона данного участка проводились ранее, они носят в основном фрагментарный характер; круглогодичные наблюдения за сезонной динамикой фитопланктона — первичного звена водной экосистемы — отсутствуют.

Цель работы — исследования современного состояния фитопланктона и его сезонной динамики на русловой части киевского участка Каневского водохранилища.

© В. И. Щербак, А. М. Задорожная, 2013

Материал и методика исследований. Сбор материала проводили в русловой части киевского участка Каневского водохранилища на стационарной станции, расположенной на расстоянии 11 км вниз по течению от плотины Киевской ГЭС. Для анализа использованы пробы, отобранные из поверхностного слоя воды (0,25 м) на протяжении года (декабрь 2009 г. — декабрь 2010 г.): с весны по осень — через каждые две недели, зимой — ежемесячно. Отборы проб проводили с 11 до 12 ч.

Пробы фитопланктона отбирали батометром Рутнера в объеме 1 дм³. Фиксацию, концентрацию, камеральную обработку проб проводили согласно общепринятым гидробиологическим методам [4]. Биомассу фитопланктона определяли стандартным счетно-объемным методом. Доминирующими считали виды, биомасса или численность которых превышала или была равна 10% от суммарных величин, субдоминирующими — виды с численностью или биомассой 5—9% общей численности или биомассы видов сообщества [12]. Названия таксонов приведены по общепринятой системе [7]. Материалы наблюдений статистически обрабатывали с использованием современных пакетов прикладных статистических программ (Statistica, 2006).

Отбор проб фитопланктона сопровождался измерением температуры воды, концентрации растворенного кислорода и степени насыщения воды кислородом [4]. Метеорологические данные, характеризующие среднемесячные температуры воздуха и их отклонения от средних многолетних данных взяты с сайта Гидрометеорологической службы Украины (<http://www.meteo.gov.ua>).

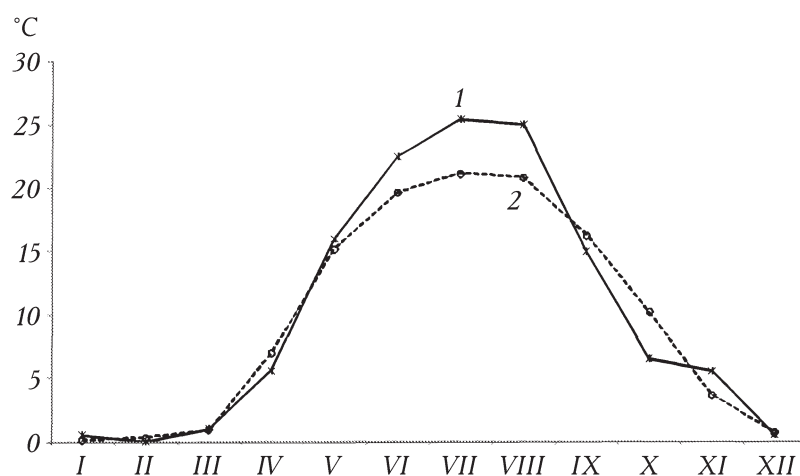
Результаты исследований и их обсуждение

Киевский участок Каневского водохранилища характеризуется гидрологическим режимом, близким к речному [5], в термическом режиме которого отмечаются два периода — открытой воды и ледостава. В период открытой воды ее температура зависит в основном от погодных условий и особенностей гидрологического режима. В период ледостава температура воды остается почти постоянной (0,1—0,5°C).

Отклонение температуры воздуха в г. Киеве от нормы среднемесячной температуры на протяжении периода исследований составляло от 4,5°C ниже (зимой) до 6,5°C выше нормы (лето — осень). В целом 2010 г. был на 1,45°C теплее средних многолетних данных. Натурные измерения температуры воды показали, что амплитуда колебаний температуры поверхностного слоя воды в 2010 г. находилась в пределах от 0,1 до 28,1°C.

Переход температуры воды весной через 0,2°C (дата наступления потепления [2, 9]) наблюдался во второй декаде марта, максимальная плотность воды (4,0°C) отмечалась в середине апреля, переход через 10,0°C (начало активного развития водной растительности [2, 9]) — в конце апреля.

Максимальная летняя температура воды регистрировалась в конце июля — начале августа и колебалась в пределах 27,0—28,1°C. Обратный переход температуры воды через 10,0°C (снижение роста, начало отмирания водной



1. Динамика среднемесячной температуры воды киевского участка Каневского водохранилища: 1 — оригинальные данные (декабрь 2009 г. — декабрь 2010 г.); 2 — литературные данные [9].

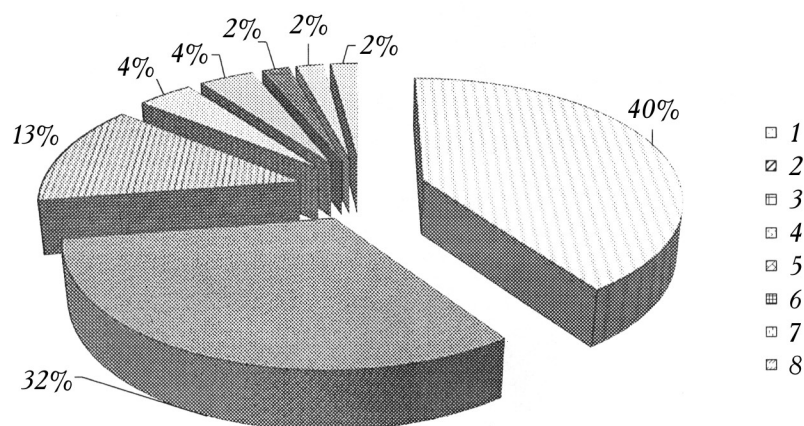
растительности) наблюдался в начале октября; переход через $4,0^{\circ}\text{C}$ — в конце ноября. Переход к зимнему состоянию (через $0,2^{\circ}\text{C}$) отмечалось во второй декаде декабря. Годовая динамика температуры воды киевского участка Каневского водохранилища в 2009—2010 гг. представлена на рис. 1.

Содержание растворенного в воде кислорода колебалось на протяжении исследуемого периода от $2,53$ до $15,41$ мг/дм³. Минимальные значения ($2,53$ — $4,58$ мг/дм³) в основном наблюдались с февраля по март включительно, максимальные ($10,23$ — $15,41$ мг/дм³) — с октября по январь. С апреля по сентябрь концентрация растворенного в воде кислорода колебалась в пределах $6,08$ — $10,20$ мг/дм³.

Анализ представленных результатов наблюдений показал, что температура воды в зимний — ранневесенний период в 2009—2010 гг. в основном соответствует литературным данным [9]. Статистически достоверные отличия динамики температуры воды регистрировались с апреля по ноябрь. Так, по данным [9], летняя температура на киевском участке Каневского водохранилища достигает $23,9^{\circ}\text{C}$, а в 2010 г. максимальная температура поверхностного слоя воды составляла $28,1^{\circ}\text{C}$. Наибольшее превышение температуры воды на протяжении всего летнего сезона 2010 г. регистрировалось в августе, и по сравнению с многолетними аналогичными данными [9] оно составляло $4,3^{\circ}\text{C}$.

В осенний период также наблюдались отклонения динамики температуры воды: после снижения в сентябре-октябре, в ноябре наблюдалось ее повышение до $6,0^{\circ}\text{C}$ ¹; согласно литературным данным [9], максимальная температура воды в данный период составляет до $4,4^{\circ}\text{C}$.

¹ Согласно данным Гидрометеорологической службы Украины, ноябрь 2010 г. в Киеве был аномально теплым, на $6,5^{\circ}\text{C}$ выше нормы.



2. Таксономическая структура (%) фитопланктона русловой части киевского участка Каневского водохранилища (декабрь 2009 г. — декабрь 2010 г.): 1 — Chlorophyta; 2 — Bacillariophyta; 3 — Cyanophyta; 4 — Dinophyta; 5 — Chrysophyta; 6 — Euglenophyta; 7 — Cryptophyta; 8 — Xanthophyta.

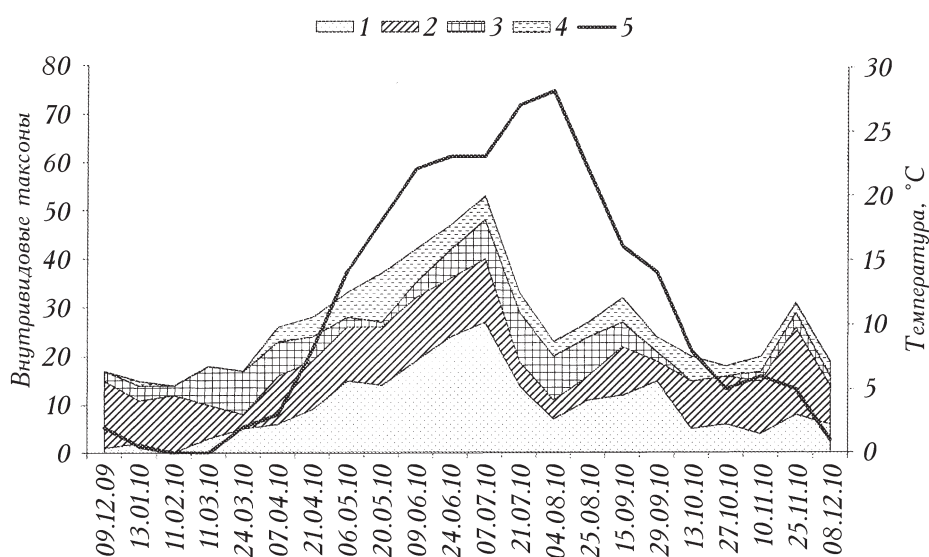
В целом, анализ многолетних данных [9, 14, 15] показал, что максимальные значения температуры воды, отмеченные в летний и осенний периоды 2010 г., можно считать аномальными. Такие температурные показатели воды в 2010 г. существенно увеличили продолжительность осеннего охлаждения и тем самым продлили вегетационный период до декабря.

В фитопланктоне за исследованный период обнаружено 157 видов, представленных 168 внутривидовыми таксонами (в. в. т.) водорослей, относящихся к 8 отделам. По количеству встреченных видов доминировали зеленые 61 (67) и диатомовые 49 (54). Меньшим количеством видов (22) представлены синезеленые, остальные отделы включали соответственно от 4 до 7 видов (рис. 2).

В целом, можно констатировать, что достоверных изменений таксономического состава фитопланктона по сравнению с литературными данными [6, 15] на уровне отделов в 2010 г. не обнаружено. Сравнительный анализ сезонной динамики видового разнообразия фитопланктона и температурной кривой показал определенную зависимость между ними. Так, с весенним увеличением температуры воды количество видов тоже увеличивалось и достигало максимальных значений (53—57 в. в. т.) в начале июня (при температуре воды 22,0—23,0°C).

Дальнейшее повышение температуры воды сопровождалось постепенным уменьшением видового разнообразия — до 33 в. в. т., а при достижении максимальных значений (27,0—28,1°C) наблюдался спад до — 23—25 в. в. т.

Дальнейшее сезонное снижение температуры воды до 22,0°C сопровождалось увеличением видового разнообразия, которое к середине сентября составляло 30—34 в. в. т., а с началом осеннего охлаждения воды количество в. в. т. снизилось до 15—18 (конец октября) и снова увеличилось в ноябре до



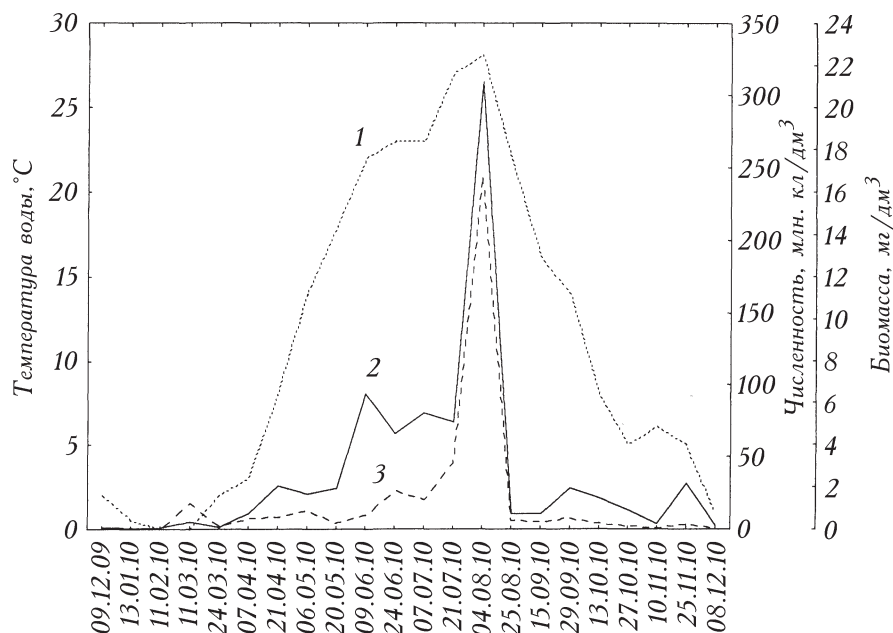
3. Сезонная динамика видового разнообразия фитопланктона и температуры воды киевского участка Каневского водохранилища (декабрь 2009 г. — декабрь 2010 г.): 1 — Chlorophyta; 2 — Bacillariophyta; 3 — Cyanophyta; 4 — другие отделы; 5 — температура воды.

27—31 в. в. т. при температуре 5,0—6,0°C. Более детально динамика видового разнообразия и температуры воды на киевском участке Каневского водохранилища представлены на рисунке 3.

Ведущее место в фитопланктоне киевского участка Каневского водохранилища принадлежало диатомовым водорослям, которые создавали значительную биомассу и численность на протяжении всего года, хотя они и уступали по видовому богатству зеленым. Особое место занимали центрические диатомеи *Stephanodiscus hantzschii* Grunow (особенно весной и осенью) и *Aulacoseira granulata* (Ehrenb.) Simonsen (летом), достигая биомассы 1,52—3,22 мг/дм³, которую можно считать «цветением» воды в водоеме [11].

Зеленые водоросли характеризовались высоким видовым богатством и максимального развития достигали летом и осенью. Синезеленые в фитопланктоне киевского участка Каневского водохранилища занимают третье место по видовому богатству, но летом они достигают в реке огромной численности в десятки и сотни миллионов клеток (43,83—236,98 млн. кл/дм³). Такое обилие характерно исключительно для мелкоклеточных видов родов *Oscillatoria*, *Microcystis* и *Aphanizomenon*.

Анализ сезонной динамики количественного развития фитопланктона и температуры воды позволил обнаружить несколько пиков вегетации (по биомассе) фитопланктона, значительно различающихся по доминированию отдельных видов, отделов и их количественному развитию (рис. 4). Вклад ведущих отделов в суммарную численность (а) и биомассу (б) водорослей, их процентное соотношение представлено на рис. 5.



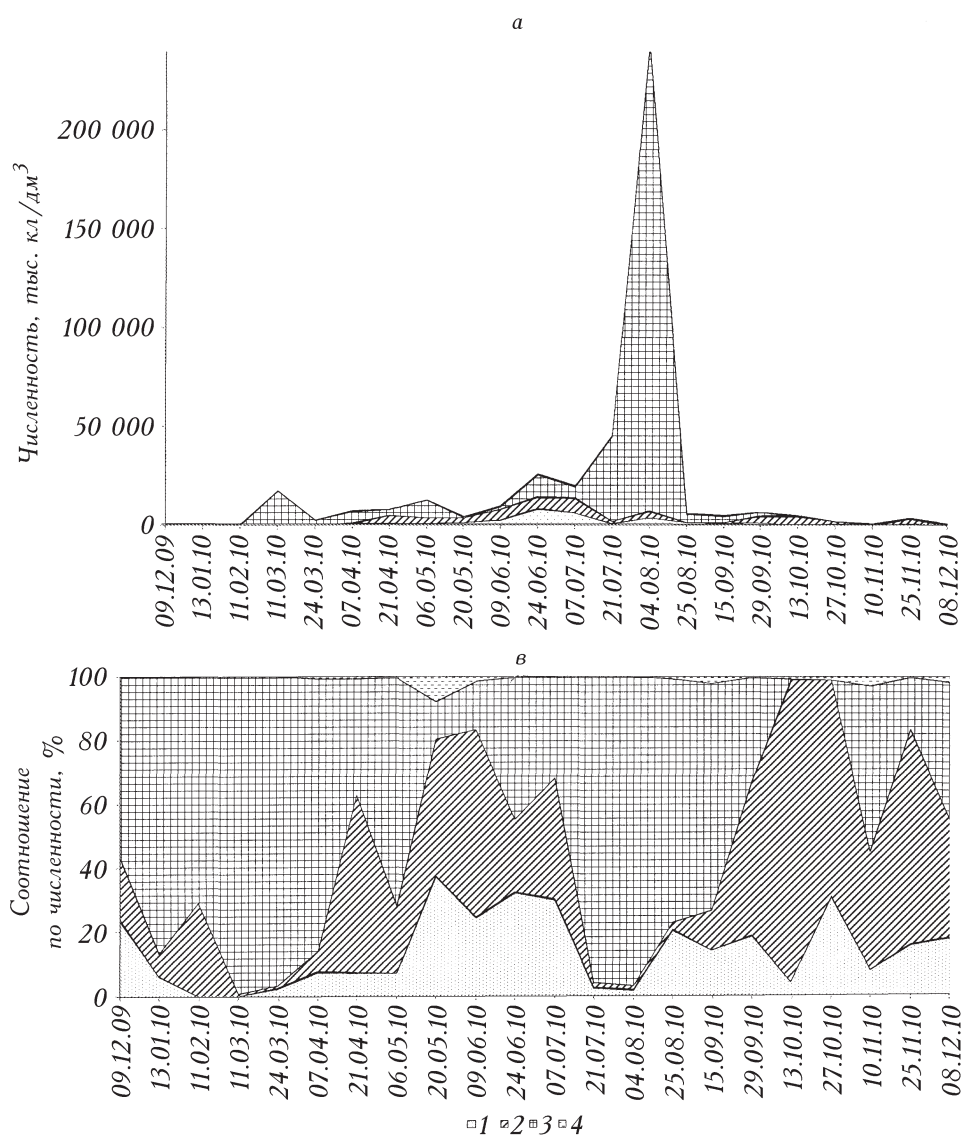
4. Годовая динамика температуры воды (1), численности (2) и биомассы (3) фитопланктона русловой части киевского участка Каневского водохранилища (декабрь 2009 г. — декабрь 2010 г.).

Самое низкое обилие водорослей наблюдаюся с декабря (2009 г.) по февраль (2010 г.) включительно (0,38—0,47 млн. кл/дм³, 0,07—0,11 мг/дм³). Абсолютными доминантами по численности в фитопланктоне были мелкоклеточные синезеленые водоросли р. *Oscillatoria* и *Spirulina* (57—86% общей численности), а основу биомассы формировали крупноклеточные диатомовые родов *Nitzschia* и *Navicula* (41—95% общей биомассы).

С началом весеннего потепления, во второй декаде марта показатели обилия фитопланктона постепенно увеличивались до 2,65—17,85 млн. кл/дм³ и 0,11—0,75 мг/дм³. Доминирующими при этом как по численности, так и по биомассе были синезеленые водоросли: *Oscillatoria agardhii* Gom., *O. amphibia* Agadi, *Spirulina* sp.. Субдоминантами (по биомассе) были *Closteriopsis acicularis* (Sm.) J.H. Belcher et Swale, *Chlamydomonas globosa* J. Snow, *C. reinhardtii* P.A. Dang., *Staurosira construens* var. *capitata* (Herib.) Bukht.

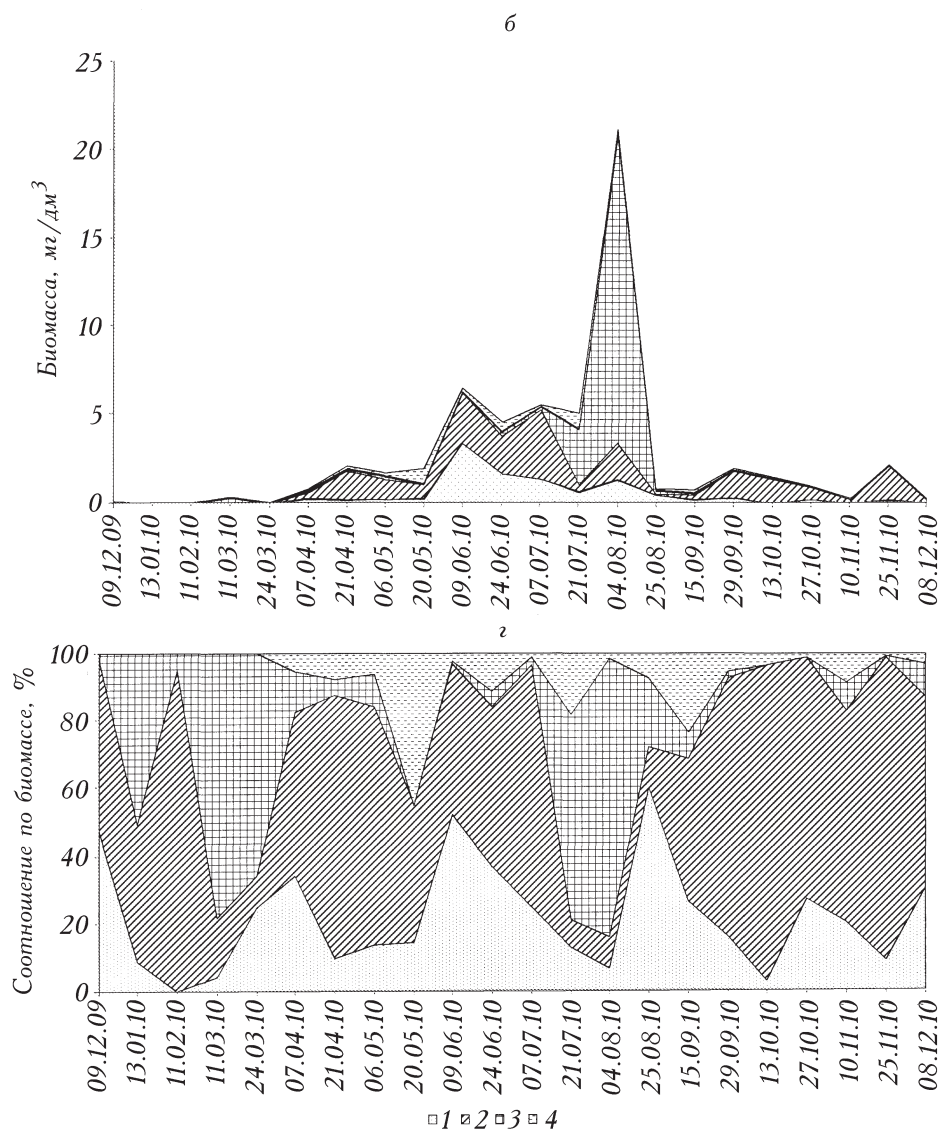
В конце апреля, при температуре воды 8,0—10,0°C показатели развития фитопланктона составляли 8,15 млн. кл/дм³ и 2,05 мг/дм³. В доминирующий комплекс (по биомассе) входили *S. hantzschii*, *Cyclotella kuetzingiana* Thw., *Asterionella formosa* Hassal, субдоминантами были *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria tenera* (W. Sm.) Lange-Bert., *Trachelomonas volvocina* Ehrenb.

В мае, при повышении температуры воды до 18,0°C, биомасса фитопланктона снизилась до 1,92 мг/дм³, что, вероятно, связано с истощением запаса биогенных элементов [2] и частичным выеданием водорослей зоопланкто-



5. Сезонная динамика численности (а) и биомассы (б) водорослей разных систематических отделов и их процентное соотношение (в, г) в фитопланктоне киевского участка Каневского водохранилища (декабрь 2009 г. — декабрь 2010 г.): 1 — зеленые; 2 — диатомовые; 3 — синезеленые; 4 — водоросли других отделов.

ном [13], характерным для этого периода. Основу альгоценозов составляли диатомовые водоросли (56% биомассы), динофитовые (20%) и зеленые (14%). Доминировали *Asterionella formosa*, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenb., *Aulacoseira granulata*, *Peridinium cinctum* (O. Müll.) Ehrenb. Основу численности формировали мелкоклоточные виды водорослей родов *Microcystis*, *Monoraphidium*, *Cyclotella*.



В июне — начале июля температура воды приблизилась к 22,0—23,0°C, фитопланктон достигал высоких количественных показателей (9,83—26,21 млн. кл/дм³ и 4,51—6,45 мг/дм³) с преобладанием диатомовых (54% биомассы, 40% численности) и зеленых водорослей (соответственно 38 и 29%). Наибольшая численность (4,56 млн. кл/дм³) и биомасса (3,22 мг/дм³) среди диатомовых отмечена у теплолюбивой центрической диатомеи *A. granulata*. Субдоминантами по биомассе были *Coelastrum astroideum* De-Not. (0,27 мг/дм³), *Pediastrum duplex* Meyen (0,25 мг/дм³), *Peridinium cinctum* (0,34 мг/дм³). Среди доминантов по численности также отмечался *Microcystis pulverea* (H.C. Wood) Forti emend. Elenkin (8,96 млн. кл/дм³).

Существенный прогрев воды от 27,0°C с конца июля вызвал смену полидоминантного сообщества диатомово-зеленых на монодоминантное — синезеленых, с увеличением обилия до 45,75 млн. кл./дм³. Наблюдалось интенсивное развитие *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Gréb. (8,04 млн. кл./дм³, 0,76 мг/дм³), *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenkin (14,46 млн. кл./дм³, 1,63 мг/дм³). Среди доминантов по биомассе также отмечался крупноклеточный *Ceratium hirundinella* (O. Müll.) Bergh (0,82 мг/дм³).

Максимальные количественные показатели водорослей отмечены в период прогрева воды до 28,1°C (начало августа). Наблюдалось интенсивное «цветение воды» с численностью водорослей 244,42 млн. кл./дм³ и биомассой 21,19 мг/дм³. Доминировали по численности и биомассе *M. aeruginosa* (122,40 млн. кл./дм³ и 13,83 мг/дм³, что составило 50% численности и 62% биомассы фитопланктона) и *A. flos-aquae* (28,40 млн. кл./дм³ и 2,67 мг/дм³), субдоминантом выступал *Phormidium mucicola* Hub.-Pest. et Naumann (68,80 млн. кл./дм³ и 0,21 мг/дм³).

К концу августа температура воды снизилась до 22,0°C, численность и биомасса фитопланктона резко сократились — до 5,90 млн. кл./дм³ и 0,75 мг/дм³. Доминирующий комплекс (в основном по биомассе) был представлен *Pediastrum duplex*, *P. simplex* Meyen, *D. denticulatus* (Lagerh.) An, Friedl et E. Hegew., *M. aeruginosa*, *T. volvocina*.

Дальнейшее снижение температуры воды до 14,0°C в сентябре способствовало увеличению обилия водорослей планктона до 6,89 млн. кл./дм³ и 1,93 мг/дм³. Монодоминантом была *A. granulata*, которая составляла 48% общей численности и 76% биомассы водорослей.

В октябре наблюдалось затухание вегетации микроводорослей и снижение их численности (до 0,83 млн. кл./дм³) и биомассы (до 0,28 мг/дм³). Доминантами были *A. granulata*, *Pediastrum boryanum* (Turpin) Menegh., *P. duplex*.

В конце ноября наблюдалось увеличение обилия фитопланктона (3,53 млн.кл./дм³ и 2,16 мг/дм³) за счет вегетации: *S. hantzschii* (40% общей численности и 70 биомассы водорослей). На наш взгляд, это объясняется относительно высокой температурой поверхностного слоя воды (5,0—6,0°C) в этот период, что также подтверждает аномальность температуры воды в 2010 г. по сравнению со средними многолетними данными [9].

В первой декаде декабря при температуре воды 1,0°C и ниже, количественные показатели уменьшились до 0,81 млн.кл./дм³ и 0,19 мг/дм³). Преобладали диатомовые (57% общей биомассы), зеленые (30%) и синезеленные (10%). В доминирующий комплекс по биомассе входили *C. kuetzingiana*, *S. hantzschii*, по численности — *A. flos-aquae*, *Oscillatoria geminata* (Menegh.) Gom., *C. kuetzingiana*.

Заключение

Аномальность 2010 г. обусловлена тем, что температура воды на киевском участке Каневского водохранилища характеризовалась отклонениями с апреля по

август на 2,8—4,3°C выше средних многолетних данных, с максимально зарегистрированной температурой воды 28,1°C (начало августа), а также в ноябре отмечалось отклонение температуры воды на 1,9—2,4°C выше средних многолетних данных с максимально зарегистрированной 6,0°C.

В таксономическом разнообразии фитопланктона доминировали зеленые водоросли (40% общего количества видов), диатомовые (32%), синезеленые (13%). Обнаружено 157 видов, представленных 168 внутривидовыми таксонами водорослей.

Установлена зависимость видового разнообразия фитопланктона от температуры воды: максимальное количество внутривидовых таксонов (53—57) регистрировалось летом при температуре воды 22,0—23,0°C. При переходе температуры воды через 27,0°C и выше наблюдался спад видового разнообразия до 23—25 в. в. т.

Показана высокая динамичность доминирующих комплексов фитопланктона в зависимости от температуры воды: при весенних температурах (8,0—10,0°C) наблюдался полидоминантный диатомовый комплекс (*C.kuetzingiana* (31%), *S. hantzschii* (16%), *Asterionella formosa* (15%)); повышение температуры воды до 22,0—24,0°C — монодоминантный комплекс диатомеи *Aulacoseira granulata* (71%); дальнейшее повышение до 27,0—28,1°C — олигодоминантный комплекс синезеленых *M. aeruginosa* (65%), *Anabaena flos-aquae* (13%); осеннее снижение температуры воды до 5,0—6,0°C вызвало формирование монодоминирование диатомеи *S. hantzschii* (71%).

Таким образом, аномально высокие температуры воды в 2010 году продлили вегетационный период фитопланктона киевского участка Каневского водохранилища и обусловили высокую динамичность структуры доминирующего комплекса.

**

Встановлено, що вегетаційний сезон 2010 р. характеризувався аномально високими температурами води в літній та осінній періоди в порівнянні з середніми багаторічними даними. Відгуком фітопланктону було декілька піків вегетації, які значно відрізнялись структурою домінуючого комплексу видів та їхнім кількісним розвитком.

**

The vegetation season of 2010 was distinguished by abnormally high water temperature in summer and autumn compared to average data for many years. Phytoplankton responded with several peaks of vegetation which significantly differed in predominant complex and quantitative development.

**

1. Гавришова Н.А, Черницкая Л.Н. Бактерио- и фитопланктон Киевского участка Каневского водохранилища в период его становления // Гидробиол. журн. — 1980. — Т. 16, № 4. — С. 10—19.

2. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1989. — 216 с.
3. Майстрова Н.В. Сукцесія фітопланктону Канівського водосховища: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. — К., 2003. — 21 с.
4. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
5. Окснюк О.П., Тимченко В.М., Давыдов О.А. и др. Состояние экосистемы киевского участка Каневского водохранилища и пути его регулирования. — Киев: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 1999. — 60 с.
6. Приймаченко А.Д., Тутьк Л.К. Фитопланктон Днепра на участке будущего Каневского водохранилища // Гидробиол. журн. — 1971. — Т. 8, № 4. — С. 31—42.
7. Разнообразие водорослей Украины // Альгология. — 2000. — Т. 10, № 4. — 309 с.
8. Рол Я.В. До вивчення фітопланктону середньої течії Дніпра // Зб. праць Дніпров. біол. ст. — К., 1930. — С. 45—72.
9. Термічний режим Дніпра і дніпровських водосховищ / За ред. О. О. Косовця. — К.: Інтерпрес ЛТД, 2008. — Вип. 4 (18). — С. 16—23.
10. Щербак В.И. Продукция фитопланктона и его трофическая роль в экосистеме Киевского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Киев, 1987. — 18 с.
11. Щербак В.И. Многолетняя динамика «цветения» воды днепровских водохранилищ // Доп. НАН України. — 1998. — № 7. — С. 187—190.
12. Щербак В.И. Методи досліджень фітопланктону // Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. — К., 2002. — С. 41—47.
13. Щербак В.И., Головка Т.В., Жганова Г.А. Потребление бактерий и водорослей планктонными ракообразными Киевского водохранилища // Гидробиол. журн. — 1983. — Т. 19, № 1. — С. 25—31.
14. Щербак В.И., Майстрова Н.В. Фитопланктон Каневского водохранилища, приустьевых областей основных притоков и его роль в формировании качества воды // Гидробиол. журн. — 1996. — Т. 32, № 3. — С. 16—26.
15. Щербак В.И., Майстрова Н.В. Фітопланктон київської ділянки Канівського водоймища та чинники, що його визначають. — К.: Ін-т гідробіології НАНУ, 2001. — 70 с.