

УДК (574.583):(621.311.25:621.311.22)

Т. Н. Новоселова, А. А. Протасов

**ФИТОПЛАНКТОН ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ
ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМ АТОМНЫХ И ТЕПЛОВЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (ОБЗОР)**

Представлен обзор имеющейся в литературе информации по фитопланктону техно-экосистем энергетических станций. Приведены данные о таксономическом богатстве и обилии фитопланктона водоемов-охладителей тепловых и атомных станций. Рассмотрены вопросы возникновения биопомех, связанных с развитием фитопланктона, представлены данные о видах-вселенцах.

Ключевые слова: фитопланктон, водоемы-охладители, показатели обилия, виды-вселенцы, биопомехи.

Технология производства электрической энергии на ТЭС и АЭС предусматривает использование больших объемов воды для охлаждения, источником которой могут служить как естественные водоемы, так и специально построенные, с аккумуляцией стока рек или заполненные водой дополнительно. В Украине ведущая роль в производстве электроэнергии (около 50%) принадлежит атомным электростанциям [23, 43], однако значительную роль играют и тепловые станции, большинство из которых имеет водоемы-охладители (ВО) и сложные системы водоснабжения.

Водоемы-охладители электростанций представляют собой достаточно крупные и техногенно нагруженные водные объекты (табл. 1). Они являются частью сложных техно-экосистем — комплексов множества взаимосвязанных природных и техногенных элементов (подводящие и отводящие каналы; плотины и струенаправительные сооружения; блочные насосные станции и связанные с ними системы технического и циркуляционного водоснабжения; технические водоемы, такие как шламонакопители, золоотвалы, брызгальные бассейны, резервуары градирен и др.) [49]. Техногенные элементы создают своеобразные биотопы, меняют характер потоков воды и влияют на гидродинамический режим.

Процессы, происходящие в техно-экосистемах, важны в аспекте как возможного или реального воздействия энергетических станций на окружающую среду, так и влияния различных биологических факторов на работу оборудования и технологические процессы [37].

© Т. Н. Новоселова, А. А. Протасов, 2014

1. Характеристики наиболее крупных водоемов-охладителей

Электростанции	Характер ВО	Площадь ВО, км ²	Объем при НПУ, млн. м ³	Максимальная отмеченная <i>t</i> , °С	Литературные источники
Хмельницкая АЭС (Украина)	Искусственный (запрудное водохранилище)	20	120	33	[49]
Лукомльская ГРЭС (Беларусь)	Природный (озеро)	36,7	242,22	30	[34, 54]
Литовская ГРЭС (Литва)	Искусственный (запрудное водохранилище)	13,49	91	28	[47]
Змиевская ГРЭС (Украина)	Природный (трансформированное озеро)	12,5	53,1	36	[10]
Криворожская ГРЭС (Украина)	Искусственный (наливное водохранилище)	15,7	70,0	38	[10]
Кураховская ГРЭС (Украина)	Искусственный (запрудное водохранилище)	15,3	62,5	36	[10]
Ладьжинская ГРЭС (Украина)	Искусственный (запрудное водохранилище)	20,8	151,0	32	[5, 10]
Южно-Украинская АЭС (Украина)	Искусственный (запрудное наливное водохранилище)	8,6	86,0	40	[10]
Патновская и Конинская ТЭС (Польша)	Природный (озера)	12,32	60,8	36	[39, 69]
Харанорская ГРЭС (РФ)	Искусственный (наливное водохранилище)	4,1	15,6	26	[6]

Одним из важнейших элементов техно-экосистем, в частности водоемов-охладителей ТЭС и АЭС, является пелагическая подсистема, в которую входит фитопланктон. От особенностей его реагирования на те или иные факторы среды, в том числе и антропогенные, существенно зависят экологическое состояние водоема-охладителя и качество воды. Кроме того, обилие и процессы функционирования фитопланктона влияют на эксплуатацию оборудования, процессы накипобразования и отложения биологического материала на теплообменных поверхностях [10].

Проблемы влияния ТЭС и АЭС на гидроэкосистемы, в частности так называемое тепловое загрязнение, привлекли широкое внимание ученых с 1960-х годов, что было вызвано интенсификацией тепловой энергетики и началом широкого внедрения атомной во многих странах мира [31, 32, 51, 58, 60, 66, 68]. Фитопланктону в комплексных исследованиях техно-экосистем ТЭС и АЭС, как правило, уделялось достаточно большое внимание, тем не менее, многие вопросы исследованы недостаточно. Ранее были сделаны обзоры [10, 25] по развитию фитопланктона для отдельных ВО и регионов, однако с тех пор накопились новые данные.

Целью настоящей работы является обзор и систематизация имеющихся материалов о таксономическом составе, обилии и ценотической структуре фитопланктона, формирующегося в техно-экосистемах электростанций, и анализ влияния на него различных абиотических и биотических факторов.

Абиотические факторы, важные для развития фитопланктона. Кроме природных экологических факторов, в ВО присутствуют техногенные, в частности, дополнительное тепловое воздействие, которое может приводить к значительному повышению температуры воды, гидродинамическое в самом водоеме и при прохождении систем водоснабжения и механическое — при транспорте воды через охлаждающие системы, изменение гидрохимического режима.

Одним из важнейших экологических факторов в водоемах-охладителях является **температура**. Температурный режим водоемов-охладителей определяется их географическим положением, климатическими особенностями региона, морфометрическими и гидрологическими характеристиками, мощностью электростанции, режимом эксплуатации всей техно-экосистемы [10, 15].

В водоемах-охладителях образуется термический градиент между зонами сброса подогретых вод и зоной отбора воды на охлаждение. Наибольшие отмеченные значения температуры в большинстве водоемов превышают 30°C (см. табл. 1). Различия в крайних точках градиента составляют от 4 до 10°C [5, 6, 10, 25, 47, 49, 70] с максимальными значениями в зимний период.

Для повышения эффективности охлаждения воды часто используются дополнительные средства охлаждения, такие как градирни и брызгальные устройства. Например, в системе охлаждения Запорожской АЭС кроме водоема-охладителя общей площадью около 8 км² в систему охлаждения включены две градирни и система брызгальных устройств на подводящем канале, перекачка воды в который обеспечивается 40 насосами.

Влияние температуры на развитие фитопланктона может быть прямым и опосредованным. Прямое воздействие определяется, в первую очередь, наиболее высокими значениями температуры, более 30°C. Как указывал Ф.Д. Мордухай-Болтовской, температура в диапазоне 25—35°C для большинства видов пресноводных организмов оказывается близкой к пороговым значениям, выше которых происходит уменьшение видового разнообразия и смена доминирующих групп [25]. Одним из проявлений негативной

реакции водорослей планктона на поступление дополнительного тепла и, собственно, повышение температуры может быть ослабление их фотосинтетической активности, вследствие чего нарушается фотосинтетическая аэрация водных масс, что при высокой температуре становится критическим [26]. Стимулирующий эффект подогрева может привести к росту численности водорослей и связанному с их деятельностью чрезмерному новообразованию первичного органического вещества и самозагрязнению водоемов. Так, в Кураховском водохранилище среднегодовое повышение температуры воды на 4°C вызывало увеличение среднегодовой биомассы на 50—72% в подогреваемой части по сравнению с непогреваемой [3, 10]. В свою очередь, это приводило к ухудшению качества воды, что подтверждается расчетами на основании показателей среднегодовой биомассы [24] — в подогреваемой части по сравнению с непогреваемой происходило смещение от 4-й к 5-й категории качества вод в пределах 3-го класса.

К числу опосредованных эффектов повышения температуры следует отнести усиление бактериальной активности, что может оказаться дополнительным источником биогенных элементов для водорослей. Как было показано исследованиями на Иваньковском водохранилище (часть акватории которого используется для охлаждения агрегатов Конаковской ГРЭС), повышение температуры на 10°C вызывало заметное увеличение интенсивности деструкции [14].

Под влиянием непрерывного поступления сбросных вод в ВО создается **течение**, скорость которого в районе сброса может быть значительной, но быстро убывает по мере удаления от него. Существенное влияние на динамику водных масс, а значит и на формирование структуры фитопланктона водоемов-охладителей оказывают ветровые течения [5, 10, 47]. В системе водоснабжения электростанций наряду с собственно водоемом-охладителем имеются каналы различного размера и конструкции, по которым осуществляется водозабор и сброс циркуляционных вод. В целом система представляет собой сочетание лотических и лентических условий. Специальные исследования сочетанного действия этих условий на фитопланктон в техно-экосистемах ТЭС и АЭС нам неизвестны. Однако стоит обратить внимание на работы по изучению фитопланктона каналов питьевого и технического водоснабжения, в которых отмечается резкая смена лентических условий на лотические при поступлении воды из водохранилищ в каналы, что приводит к изменению структуры фитопланктона, в частности резкому снижению обилия синезеленых водорослей (цианопрокариот) [27, 28].

Гидрохимический режим водоемов-охладителей в общих чертах сходен с таковым природных водоемов данной климатической зоны [6, 10, 54]. Однако многие техногенные водоемы служат приемниками сточных вод очистных систем и других технологических сбросов, что непосредственно влияет на гидрохимический режим. Характерный для водоемов-охладителей термический режим способствует более интенсивному испарению воды, чем в естественных водоемах, что приводит к повышению минерализации [43]. На водоеме-охладителе Запорожской АЭС в качестве мероприятий для уменьшения минерализации воды успешно используется продувка (в 2011 г. вследствие постоянной продувки отмечено снижение минерализации воды

на треть — с 600—632 до 400 мг/дм³) [40]. Интенсивное развитие водорослей, их высокая фотосинтетическая активность и возрастание рН при увеличении минерализации способствуют сдвигу карбонатно-кальциевого равновесия в сторону повышения концентрации карбоната кальция, что является еще одной важной особенностью роли фитопланктона в техно-экосистемах [10]. Вследствие этих процессов усиливается накипеобразование на теплообменных поверхностях, что приводит к большим потерям в выработке электроэнергии. Напряженный кислородный режим на фоне высокой температуры воды и высокого содержания органических веществ обуславливает возникновение заморных явлений в некоторых ВО. Причем заморные явления в водоемах-охладителях в летний период отмечаются чаще, чем в природных водоемах умеренной зоны, где формируется ледовый покров. При заморах происходит значительное угнетение не только донных организмов, но и фитопланктона [42, 52, 55].

Биотические факторы. Кроме абиотических, на развитие фитопланктона водоемов-охладителей существенное влияние могут оказывать биотические факторы. К последним относятся выедание фитофагами — растительноядными рыбами и зоопланктоном, ингибирование или, наоборот, стимулирование высшими водными растениями (ВВР), угнетение вследствие фильтрационной активности организмов-фильтраторов (ракообразных, моллюсков, губок).

Использование различных видов рыб для целей биомелиорации широко распространено в технических водоемах [56, 57, 59, 71]. Для борьбы с «цветением» воды и уменьшением содержания взвешенных органических веществ в воде проводят зарыбление белым толстолобиком *Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes. Так, в 1983—1985 гг. было осуществлено массовое зарыбление водоема-охладителя Змиевской ТЭС двухлетками белого и пестрого толстолобиков и белого амура. Через два года биомасса фитопланктона уменьшилась почти втрое. В последующем ее колебания в некоторой степени соответствовали динамике зарыбления водоема [2].

Влияние ВВР на структуру и динамику фитопланктона может быть противоположно направленным. Погруженные макрофиты (рдесты, уруть, роголистник и др.) для своего развития извлекают из воды большое количество азота и фосфора. Так, в процессе вегетации погруженные ВВР Кучурганского лимана — охладителя Молдавской ГРЭС извлекают из воды азота в два, а фосфора — почти в три раза больше их среднегодового содержания и углерода в количестве равном среднегодовому [21]. Таким образом, эта группа ВВР является серьезным трофическим конкурентом фитопланктона и в значительной мере тормозит его развитие, в том числе препятствуя «цветению» воды. Однако имеет место и обратный процесс. В период массового отмирания и разложения ВВР большая часть продуктов распада поступает в водную толщу, насыщая ее органическими и минеральными биогенными веществами, и тем самым стимулирует развитие фитопланктона. Аллелопатическое воздействие на фитопланктон чаще бывает отрицательным, например для мезотрофных и евтрофных озер были описаны случаи угнетающего влияния зарослей водных макрофитов (*Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L. и *Chara* sp.) на развитие фитопланктона [73]. В водо-

еме-охладителе Молдавской ГРЭС было отмечено снижение количественного и качественного развития фитопланктона на участках, сильно заросших погруженными макрофитами (рдест, уруть, валлиснерия, роголистник) [21, 50]. Но отмечено также стимулирующее влияние ВВР на фитопланктон [44].

На структуру и функционирование всей экосистемы в целом и фитопланктона в частности как естественных водоемов, так и водоемов-охладителей огромное влияние оказывает вселение моллюсков-фильтраторов дрейссены *Dreissena polymorpha* Pallas и *D. bugensis* Andr. [18, 29, 61, 62, 64, 65, 67, 72]. На основании результатов исследований в оз. Лукомльском (Беларусь) — охладителе крупной ТЭС был сделан вывод, что через 5—10 лет с момента инвазии, когда дрейссена достигла максимума своего развития, наблюдалось ее наибольшее влияние на экосистему водоема [67]. Концентрация биогенных элементов снизилась, прозрачность значительно возросла, количественные показатели фитопланктона и содержание хлорофилла *a* уменьшились в 1,5—4,0 раза. Следует также отметить, что в период значительного развития популяции дрейссены в фитопланктоне этого озера в течение всех сезонов года преобладали диатомовые водоросли, а после стабилизации и снижения ее численности состав доминантов все больше определялся синезелеными водорослями [66]. В фитопланктоне водоема-охладителя Хмельницкой АЭС (ХАЭС) летом 2008 г. (спустя 5—6 лет после вселения дрейссены) произошло резкое снижение видового богатства и численности фитопланктона. В видовом составе насчитывалось всего девять НОТ (низших определяемых таксонов). Для сравнения, в 1998 г. в этом водоеме количество НОТ фитопланктона в летний период составило 73, в 2005 г. — 29 [49]. В Нарочанских озерах после вселения дрейссены произошло снижение биомассы и таксономического богатства всех отделов водорослей, за исключением золотистых. В этот период отмечено уменьшение средней массы клетки и снижение степени агрегированности клеток в колонии. Особенно отчетливо это проявлялось на примере диатомовых водорослей [29, 30].

Изучение отклика фитопланктона на действие техногенных факторов и его изменений в зависимости от степени и продолжительности воздействия энергетической станции очень важно для разработки подходов к созданию комплексного гидробиологического и экологического мониторинга техно-экосистем ТЭС и АЭС.

Воздействие на фитопланктон прохождения через агрегаты электростанций. Существенным техногенным фактором, оказывающим влияние на развитие фитопланктона водоемов-охладителей, является транспорт воды через охлаждающие системы, насосные станции и другие технические системы. Забираемая для охлаждения вода из водоема вместе с планктоном сначала проходит через заградительные решетки, а затем вращающиеся сетки и подвергается действию значительного давления в насосных камерах, высокой скорости в трубках конденсаторов, на водосбросе и в головной части отводящего канала. Кроме того, на некоторых станциях вода перед поступлением в конденсаторы хлорируется с целью предотвращения бактериального и грибкового обрастания внутренней поверхности трубок, что неблагоприятно отражается на физиологической активности фитопланктона [14].

Гидродинамическое и термическое воздействие приводит к гибели многих организмов, в том числе и водорослей планктона. Так, сообщается, что при прохождении конденсаторов Молдавской ГРЭС в среднем разрушается 72% клеток фитопланктона [50], причем наиболее сильно травмируются синезеленые водоросли, далее следуют хлорококковые и вольвоксовые, при этом диатомовые почти не разрушаются. Однако наряду с этим существует мнение, что прохождение через агрегаты АЭС и ТЭС в целом мало сказывается на состоянии фитопланктона [13, 25]. Отмеченные случаи очень сильного (на 90%) подавления фотосинтеза после прохождения ТЭС объясняются больше отрицательным влиянием хлорирования воды, чем высокой температурой и механическим воздействием [25].

Таксономический состав фитопланктона в техно-экосистемах. Видовой состав фитопланктона водоемов-охладителей формируется в основном из фитопланктона, поступающего из водоисточника. Для русловых водохранилищ такими источниками являются вышерасположенные участки реки, наливных — водоемы и водотоки, откуда осуществляется наполнение сооружаемого водохранилища-охладителя и его последующая подпитка. Существуют также и другие возможные источники поступления водорослей и их спор: с воздушными потоками [22], водоплавающими птицами, при зарыблении.

Вместе с тем, фитопланктон, поступающий из водоисточника в подогреваемые водоемы, претерпевает, в зависимости от степени различий в условиях, более или менее выраженные изменения. Происходит гибель или резкое снижение интенсивности развития небольшого числа более холодноводных и речных форм разных отделов и увеличение продуктивности большинства видов. Наименее заметны эти изменения в проточных водоемах-охладителях, например в Ладыжинском, более ощутимы — в замкнутых, например в Чернобыльском, в которое в процессе подкачки поступает речной планктон из р. Припяти [10].

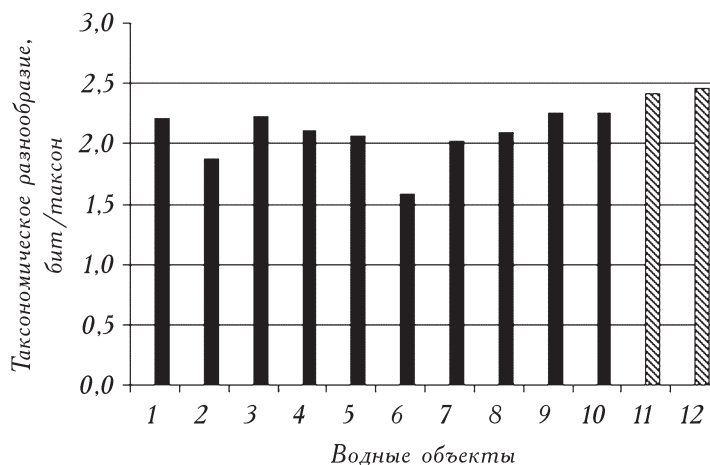
Фитопланктон водоемов-охладителей весьма богат. Количество видов в зависимости от водоема и степени его изученности колеблется от 90 (Литовская ГРЭС) [48] до 386 (Чернобыльская АЭС) [10], в среднем составляя 239 НОТ (табл. 2). Видовое богатство и структура таксономических спектров фитопланктона в большинстве водоемов достаточно близки, однако имеются исключения. Фитопланктон водоемов-охладителей Криворожской и Харанорской ГРЭС представлен значительно меньшим количеством видов, кроме того доля диатомовых и синезеленых водорослей здесь ниже, чем в других водоемах.

Флористический состав фитопланктона во всех подогреваемых водоемах представлен в основном обычными, широко распространенными пресноводными планктонными эвритермными видами, а флористические спектры сходны с таковыми водоемов с естественным температурным режимом [10].

Количество отделов (богатство) и степень насыщенности отделов видами (таксономическая выравненность) могут быть оценены по показателю так-

2. Таксономическое богатство фитопланктона (НОТ) водоемов-охладителей энергетических станций, Киевского водохранилища и киевского участка Каневского водохранилища

Водные объекты, электростанции	T_{max} , °С	Суанопрокауота	Chryso-phyta	Сруппто-phyta	Dinophyta	Vacilla-riophyta	Xantho-phyta	Eugleno-phyta	Chloro-phyta	Всего НОТ	Литера-турные источники
Чернобыльская АЭС (доаварийный период)	33,7	49	9	8	11	85	9	15	200	386	[10]
Хмельницкая АЭС	33	37	6	3	9	114	5	16	106	296	[49]
Львовская ГРЭС	28,2	29	10	5	7	73	4	18	146	205	[10, 5]
Зуевская ГРЭС	38	29	14	6	8	106	2	67	150	382	[10]
Кураховская ГРЭС	36	36	10	3	6	99	5	22	126	307	[10]
Конинские озера	30	35	5	—	7	160	4	18	143	372	[70]
Молдавская ГРЭС	30	27	4	1	3	82	4	37	120	278	[21]
Змиевская ТЭС	28	23	2	4	6	82	8	15	122	262	[2]
Криворожская ГРЭС	39	14	1	3	4	21	—	2	62	107	[9]
Харановская ГРЭС	26	22	15	2	3	18	—	—	59	119	[6]
Киевское водохранилище		66	16	8	21	121	12	53	215	511	[41]
Каневское водохранилище		39	21	6	11	71	5	12	122	287	[50]



1. Таксономическое разнообразие фитопланктона водоемов-охладителей, Киевского и Каневского водохранилищ: 1 — Чернобыльская АЭС (доаварийный период); 2 — Хмельницкая АЭС; 3 — Ладжинская ГРЭС; 4 — Зуевская ГРЭС; 5 — Кураховская ГРЭС; 6 — Конинские озера; 7 — Молдавская ГРЭС; 8 — Змиевская ТЭС; 9 — Криворожская ГРЭС; 10 — Харанорская ГРЭС; 11 — Киевское водохранилище; 12 — Каневское водохранилище.

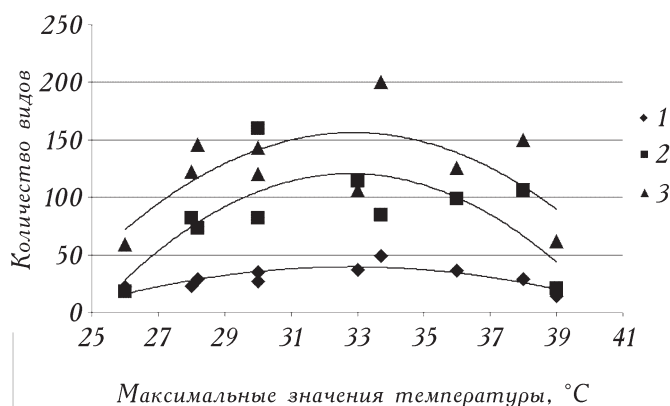
сономического разнообразия [35]. В фитопланктоне неподогреваемых водохранилищ таксономическое разнообразие выше, чем в водоемах-охладителях (рис. 1). Поскольку по количеству отделов отличия невелики, возрастание таксономического разнообразия связано в больших водохранилищах с более выравненным распределением видов по отделам. Наименьшим значением выравненности (0,56), характеризуются подогреваемые Конинские озера, в то время как для фитопланктона других ВО значения этого показателя были выше (0,62—0,87).

Существует мнение, что повышение температуры до 20°C приводит к увеличению видового богатства практически всех отделов водорослей [25]. При 25—30°C состав фитопланктона изменяется в сторону уменьшения видового богатства диатомовых, а затем (выше 35°C) и зеленых водорослей, при этом возрастает роль синезеленых.

Отмечено [17], что в водоемах с максимальной температурой ниже 32°C обычно доминировали диатомовые водоросли, при более высокой они уступали место зеленым, а выше 37°C преобладали синезеленые. В местах, где температура воды превышает 50°C, эукариотические водоросли отсутствовали и развивались лишь синезеленые, например в пруду «С» водоема-охладителя Пар Понд (США) [17].

Однако проведенный нами анализ литературных данных по десяти водоемам-охладителям умеренной климатической зоны показал, что все основные группы водорослей фитопланктона при повышении максимальной регистрируемой в водоеме температуры ведут себя похожим образом: в водоемах с максимальной температурой до 33°C видовое богатство зеленых, диатомовых и синезеленых растет, после 33°C — падает (рис. 2).

На изменение таксономического состава влияние оказывает и гидродинамический режим. Так, высокая скорость воды в подводящем и отводящем каналах и интенсивное турбулентное перемешивание, особенно в зоне сброса подогретых вод, способствуют повышению содержания в планктоне водоемов-охладителей донных и перифитонных форм водорослей [10, 46].



2. Зависимость количества видов Суанопрокариота (1), Bacillariophyta (2) и Chlorophyta (3) в фитопланктоне водоемов-охладителей от максимальной отмеченной в них температуры.

Состав фитопланктона в значительной степени зависит от гидрохимического режима водоема. Например, высокое содержание солей (до 3677 мг/л) в воде Кураховского водохранилища стимулировало развитие в планктоне довольно большого количества видов (более 14%) водорослей-галофилов, таких как *Chaetoceros muelleri* Lemm., *Amphiprora paludosa* var. *subsalina* Cl. (Syn. *Entomoneis paludosa* var. *subsalina* (Cl.) Kram.), *Navicula salinarum* Grun., *Gyrosigma macrum* (W. Sm.) Cl. и др. [10].

Гетерогенность видового состава фитопланктона по акватории водоемов-охладителей. Подогрев воды способствует повышению видового богатства фитопланктона [10], однако зарегистрированы и случаи его снижения, например в зонах подогрева на Литовской и Новочеркасской ГРЭС [12, 47]. В то же время, на ХАЭС термический фактор не являлся определяющим в формировании таксономического богатства фитопланктона. В отводящем канале по сравнению с подводящим регистрировалось как меньшее, так и большее количество видов [49], и, по мнению авторов, более существенная роль в пространственном распределении фитопланктона принадлежит гидродинамическим условиям при ветровом воздействии. По некоторым данным [10], распределение фитопланктона по акватории подогреваемых водохранилищ является достаточно равномерным. Количество вегетирующих видов водорослей по участкам, несмотря на большие различия в температуре (до 10°), как правило, небольшое (в пределах ± 2 —18% по отношению к количеству в наименее подогреваемой станции). Однако имеются сведения и о значительной неоднородности пространственного распределения фитопланктона. Так, на нижнем участке Кучурганского лимана, входящем в зону активной циркуляции водоохладительной системы ГРЭС, фитопланктон в таксономическом отношении был богаче, чем на соседнем участке, на 61% [21].

Сезонная динамика видового состава фитопланктона. В непроточных и слабопроточных водоемах-охладителях в течение почти всего года отмечается достаточно большое количество вегетирующих видов водорослей. Объясняется это тем, что при постоянном подогреве в водоеме создаются благоприятные условия для значительного удлинения сроков вегетации разных групп, особенно зеленых, диатомовых и синезеленых водорослей. При этом чем выше подогрев, тем большее количество НОТ вегетирует круглогодично. Видовое богатство фитопланктона неподогреваемых водохранилищ умеренной зоны характеризуется четко выраженной сезонной динамикой — максимальным количеством таксонов водорослей, приуроченным к летнему периоду, минимальным — к зимнему. Например, на протяжении вегетационного сезона 1998 г. количество видов осеннего фитопланктона киевского участка Каневского водохранилища составляло 55 НОТ, весеннего — 63, а летнего — 125 [53]. Сезонная динамика количества видов фитопланктона ВО ХАЭС в 2006 г. была следующей: зимой — 55 НОТ, весной — 58, летом — 71 и осенью 56 НОТ [49]. В 1965 г. в подогреваемой части Кураховского водохранилища видовое богатство фитопланктона по сезонам было довольно близким (зима — 50, весна — 75, лето — 82, осень — 60 НОТ), в то же время в неподогреваемой сезонные различия были более выражены (зима — 22, весна — 55, лето — 70, осень 35 НОТ) [10]. Таким образом, в условиях подогрева значительно слабее, чем в естественных, выражены смена видового состава и сезонные колебания количества вегетирующих таксонов водорослей [10, 25]. Однако наибольшее количество видов водорослей все же регистрируется в летний период.

Количественные показатели фитопланктона в техно-экосистемах. В большинстве случаев, несмотря на большой разброс значений (до двух порядков), количественные показатели фитопланктона в подогреваемых водоемах колеблются в тех же пределах, что и в водоемах с естественным температурным режимом (табл. 3), особенно это справедливо для весеннего и осеннего периодов.

Постоянный подогрев воды оказывает на развитие фитопланктона как стимулирующее воздействие [31], особенно в холодное время года, так и угнетающее. Так, в зимний период в зоне подогрева Иваньковского водохранилища его биомасса возрастает в 5—10 раз по сравнению с таковой на участках водоема с естественной температурой воды [25]. В 1967—1968 гг. под влиянием подогретых вод Конаковской ГРЭС в Иваньковском водохранилище на протяжении большей части года отмечена интенсификация развития фитопланктона. Летом дальнейшее повышение и без того высокой температуры воды вызывало снижение биомассы [13]. В водоеме-охладителе Литовской ГРЭС его количественные показатели в зоне подогретой воды в летний период снижались в 1,4—4,3 раза [48]. Похожая ситуация наблюдалась и в водоеме-охладителе Лукомльской ГРЭС. В период летнего максимума численность и биомасса фитопланктона в зоне подогрева была в два раза и более ниже, чем на остальной акватории, а более интенсивное развитие водорослей под влиянием подогрева отмечалось лишь весной и поздней осенью [54].

3. Сезонная динамика численности и биомассы фитопланктона в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС (2006 г.) [49] и киевского участка Каневского водохранилища (1998 г.) [53]

Водоемы	Сезоны	Численность, млн. кл/дм ³	Биомасса, мг/дм ³
ВО ХАЭС	Весна	0,08—2,20	0,04—1,89
	Лето	2,32—58,83	0,36—3,39
	Осень	3,92—3,58	0,19—2,86
Каневское водохранилище	Весна	0,04—4,96	0,17—3,56
	Лето	1,12—19,39	0,32—42,06
	Осень	0,04—4,12	0,03—1,44

Для сезонной динамики фитопланктона в водоемах-охладителях, как и в водоемах с естественным температурным режимом, характерны значительные колебания численности и биомассы с минимумом в зимний и максимумом, как правило, в летний период, а также смена доминирующих групп. Зимой обычно преобладают зеленые и диатомовые, с ранней весны заметно повышается количество синезеленых, которые обычно господствуют в летний период, составляя до 99% общей численности. Осенью в большинстве случаев ведущая роль синезеленых сохраняется, но при этом снова значительно повышается роль зеленых и диатомовых [10, 49].

В водоемах-охладителях создаются благоприятные температурные условия для более раннего начала массовой вегетации весной (апрель, март и даже февраль, при благоприятных условиях освещенности) большого количества форм всех основных групп водорослей. В осенний период в подогреваемых водоемах фитопланктон еще долго продолжает развиваться более активно, чем в непогреваемых, сохраняя довольно высокое обилие до глубокой осени, а при благоприятной освещенности — до декабря [10].

Виды-вселенцы в фитопланктоне водоемов-охладителей. Исследователи инвазионного процесса подчеркивают, что группировки самоподдерживающихся популяций на тех или иных территориях или акваториях не случайны, их сосуществование обусловлено согласованным функционированием, именно поэтому они создают определенный тип сообщества. Внедрение новых видов в биоценозы, как правило, нарушает сложившиеся биоценотические связи [1].

Воздействие любого чужеродного вида на сообщества организмов в водоеме-реципиенте малопредсказуемо. Вид, не оказывающий явно отрицательного воздействия в пределах естественного ареала, может причинить серьезный экологический и экономический ущерб в новом географическом регионе [45], в частности, в техно-экосистемах — негативно влиять на эффективность работы оборудования.

Спонтанное вселение некоторых планктонных водорослей происходит как в естественные водоемы, так и в водоемы-охладители ТЭС и АЭС. Мно-

гие вселенцы из диатомовых появились в составе альгофлоры волжских водохранилищ и стали интенсивно распространяться и доминировать в структуре сообществ [19, 20]. В фитопланктоне водоема-охладителя ХАЭС были обнаружены новые для флоры Украины виды центрических диатомовых водорослей, в том числе *Cyclotella marina* (Tanimura, Nagumo et Kato) Aké-Castillo, Okolodk. et Ector, обитающая преимущественно в морской среде [8], и *Aulacoseira tenella* (Nygaard) Simonsen [7]. В условиях интенсивного длительного подогрева в ВО Зуевской ГРЭС обычные для водохранилищ этого региона возбудители «цветения» воды были полностью вытеснены stenothermными теплолюбивыми формами синезеленых водорослей субтропического и тропического происхождения — *Aphanizomenon ovalisporum* Forti, *Anabaena aphanizomenoides* Forti (Syn. *Sphaerospermum aphanizomenoides* (Forti) Zapomelova et al. comb. nov.) и *Anabaenopsis raciborskii* (Wolosz.) Elenkin (Syn. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya et Subba Raju) [10]. В планктоне водоема-охладителя Запорожской АЭС также было зарегистрировано массовое развитие *A. raciborskii*. В июле 1995 г. биомасса синезеленых водорослей достигала 39,9 мг/дм³, что соответствует уровню «цветения» воды IV степени. Ее основу формировали и имели 100%-ную частоту встречаемости *A. raciborskii* и *Oscillatoria agardhii* Gom. [16].

Биопомехи, вызываемые фитопланктоном. Использование фитопланктона в гидробиологическом мониторинге. В работе систем водоснабжения АЭС биологические помехи возникают в результате жизнедеятельности различных гидробионтов, обитающих в водоисточнике, водоемах-охладителях или системах водоснабжения [38, 49]. В составе фитопланктона водоемов-охладителей умеренной климатической зоны потенциальную угрозу в аспекте механических биологических помех представляют в основном нитчатые зеленые, синезеленые и диатомовые водоросли.

Как отмечалось выше, существенную роль в развитии фитопланктона играет термический режим. Например, массовая вегетация нитчатых синезеленых часто приурочена к зоне сброса подогретых вод. Их интенсивное развитие влияет на общее количество органического вещества, в том числе как трофического субстрата для развития бактериальных пленок в системе охлаждения. Кроме того, скопление на поверхности воды планктонных водорослей при «цветении» воды приводит к снижению теплопередачи в атмосферу. На некоторых водоемах-охладителях, например, в Кучурганском лимане [21, 50], развитие синезеленых искусственно подавлялось путем внесения в водоем сернокислой меди. В июне 1967 г., когда численность синезеленых здесь достигла 7,15—23,57 млн. кл/дм³, было проведено купоросование, после чего через два дня водоросли родов *Aphanizomenon* и *Anabaena* практически исчезли. Лишь через месяц они стали спорадически появляться в незначительном количестве и до конца вегетационного периода не достигли сколько-нибудь заметного развития. Также было отмечено угнетающее влияние купоросования на вегетацию диатомовых и вольвоксовых водорослей, численность которых после внесения сернокислой меди уменьшилась, однако спустя несколько недель почти полностью восстановилась. В то же время, эти «токсикоманипуляции» оказали стимулирующее действие на нитчатые водоросли родов *Enteromorpha*, *Chaetomorpha*, *Tribonema*, *Cladophora* и других в бентосе и перифитоне, биомасса которых на отдельных участках

достигала 10 кг сырой массы на 1 м². Влияние, скорее всего, было опосредованным — благодаря увеличению прозрачности воды, снижению трофической конкуренции за биогенные элементы и др. Можно предположить, что имели место явления антропогенной контуризации [11] вследствие угнетения альгицидами планктонной части экосистемы.

Согласно Водной Рамочной Директиве ЕС фитопланктон является объектом мониторинга как естественных, так и антропогенно трансформированных водных объектов [4]. Для техно-экосистем АЭС Украины был разработан Регламент гидробиологического мониторинга [33], который также включает фитопланктон в качестве одного из мониторинговых объектов.

Фитопланктон является одним из главных продуцентов органического вещества в водоемах. Значительное ослабление или усиление фотосинтеза особенно в условиях подогрева, может приводить к ухудшению кислородного режима и снижению содержания углекислоты в воде (в дневное время), что способствует распаду бикарбонатов и образованию накипи на внутренних поверхностях трубок конденсаторов [17]. При разложении водорослей образуются фенольные соединения, в периоды «цветения» воды содержание летучих фенолов может достигать 150 мкг/дм³ [44]. Таким образом, фитопланктон может оказывать как положительное (фотосинтетическая аэрация водных масс, кормовая база для беспозвоночных и рыб), так и отрицательное (биопомехи, заморы) воздействие на санитарно-экологическое состояние водоемов-охладителей и работу технических систем электростанций.

Заключение

На основании данного обзора можно заключить следующее:

— в техно-экосистемах ТЭС и АЭС не происходит заметного снижения таксономического богатства фитопланктона, в отдельных водоемах отмечено до нескольких сотен видов;

— состав водорослей в водоемах-охладителях существенно не отличается от альгофлоры региона, однако характеризуется более низким таксономическим разнообразием, чем в непогреваемых водохранилищах, где распределение видов по отделам более выравнено;

— количественное развитие фитопланктона, как правило, не отличается от такового в водоемах с естественным температурным режимом;

— в сезонном аспекте отмечена обычная сезонная цикличность развития фитопланктона, однако специфические термические условия определяют значительное увеличение вегетационного периода;

— влияние различных техногенных факторов на фитопланктон неоднозначно;

— планктонные водоросли могут вызывать биологические помехи в эксплуатации систем охлаждения ТЭС и АЭС, эффективными и экологически приемлемыми методами их ограничений могут быть биомелиорация, снижение поступления

ния биогенных веществ как с окружающих территорий, так и из систем водоочистки;

— фитопланктон является важным объектом экологического и гидробиологического мониторинга. В частности, большое значение имеет мониторинг инвазивного процесса, поскольку виды-вселенцы, которые заселяют и естественные водоемы, в техно-экосистемах могут стать причиной существенного ущерба как для экосистем, так и для деятельности человека;

— водоемы-охладители с их специфическим термическим режимом представляют собой важные модельные экосистемы для изучения изменений климата. В этом аспекте фитопланктон, как весьма динамичный блок водных экосистем, представляет собой важный объект исследований.

**

Наведено огляд літератури стосовно фітопланктону техно-екосистем енергетичних станцій. Представлено дані про таксономічне багатство і рясність фітопланктону водойм-охолоджувачів теплових і атомних станцій. Розглянуто питання виникнення біоперешкод, пов'язаних з розвитком фітопланктону та дані про види-вселенці.

**

The overview of the available literature information regarding the study of phytoplankton of techno-ecosystems of the power stations has been provided. The data on the taxonomic richness and abundance of phytoplankton of cooling ponds of thermal and nuclear power plants have been given. The issues of biohindrances associated with the phytoplankton development has been considered. The data on invasive species has been provided.

**

1. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / Под ред. А. Ф. Алимova, Н. Г. Богущкой. — М.; СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2004. — 436 с.
2. Васенко О.Г. Екологічні основи водоохоронної діяльності в теплоенергетиці / Бібліотека журналу ІТЕ. — Харків: УкрНДІЕП, 2000. — Т. 1. — 243 с.
3. Виноградская Т.А. Влияние подогрева на развитие фитопланктона водохранилища-охладителя Кураховской ГРЭС // Гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей тепловых электростанций СССР / Отв. ред. М. Л. Пидгайко. — Киев: Наук. думка, 1971. — С. 136—154.
4. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. — К., 2006. — 240 с.
5. Водоем-охладитель Ладыжинской ГРЭС / Отв. ред. О. Г. Кафтаникова. — Киев: Наук. думка, 1978. — 132 с.
6. Водоем-охладитель Харанорской ГРЭС и его жизнь / Отв. ред. В. В. Кириллов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. — 192 с.
7. Генкал С.И., Ярмошенко Л.П. Центрические диатомовые водоросли (Bacillariophyta) водоема-охладителя Хмельницкой АЭС (Украина) // Гидробиол. журн. — 2012. — Т. 48, № 5. — С. 52—66.

8. Генкал С.И., Ярмошенко Л.П., Охупкин А.Г. Первые находки морского вида *Cyclotella marina* (Bacillariophyta) в пресноводных водоемах Европы // Альгология. — 2012. — Т. 22, № 4. — С. 431—440.
9. Гидробиологическая, гидрохимическая и гидрологическая характеристики водоема-охладителя Криворожской ГРЭС / А. А. Протасов, О. А. Сергеева, Р. А. Калиниченко и др. — Киев, 1988. — 162 с. — Рукопись деп. в ВИНТИ, № 9005-В88.
10. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред М. Ф. Поливанная. — Киев: Наук. думка, 1991. — 192 с.
11. Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. — М.: Полиграф-плюс, 2013. — 300 с.
12. Гуртовая А.П., Саянина Л.М., Морковник З.С. Гидрохимический режим и альгофлора сбросного канала Новочеркасской ГРЭС / Антропогенное эвтрофирование природных вод: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. по антропогенному эвтрофированию природных вод, 19—23 дек. 1977 г., Звенигород. — Звенигород, 1977. — Т. 1. — С. 15—17.
13. Девяткин В.Г. Влияние термальных вод на фитопланктон приплотинного плеса Иваньковского водохранилища // Гидробиол. журн. — 1970. — Т. 6, № 2. — С. 45—50.
14. Девяткин В.Г. Влияние подогретых вод на фитопланктон Иваньковского водохранилища // Тр. Ин-та биологии внутр. вод. — 1975. — Вып. 27 (30). — С. 143—197.
15. Доманов В.Н., Костин А.Г., Никифорович Е.И. Процессы тепломассообмена водоемов-охладителей с атмосферой. — Киев: Наук. думка, 2011. — 319 с.
16. Калиниченко Р.А., Сергеева О.А., Протасов А.А., Синицына О.О. Структура и функциональные характеристики пелагических и контурных группировок гидробионтов в водоеме-охладителе Запорожской АЭС // Гидробиол. журн. — 1998. — Т. 32, № 1. — С. 15—25.
17. Каратаев А.Ю. Воздействие подогрева на пресноводные экосистемы // Вестн. Белорус. ун-та. — Минск, 1990. — 133 с. — Рукопись деп. в ВИНТИ, № 2440-В90.
18. Каратаев А.Ю., Бурлакова Л.Е. Роль дрейссены в озерных экосистемах // Экология. — 1995. — № 3. — С. 232—236.
19. Корнева Л.Г. Современные инвазии планктонных водорослей / Чужеродные виды в голарктике (Борок-2): Тез. докл. Второго междунар. симп. по изуч. инвазийных видов, Борок, 27 сент. — 1 окт. 2005 г. — Борок, 2005. — С. 47—49.
20. Корнева Л.Г. Инвазии чужеродных видов планктонных водорослей в пресных водах голарктики (обзор) // Рос. журн. биол. инвазий. — 2014. — № 1. — С. 9—37.
21. Кучурганский лиман-охладитель Молдавской ГРЭС / Отв. ред. М. Ф. Ярошенко. — Кишинев: Штиинца, 1973. — 206 с.
22. Леванець А.А. До питання про розповсюдження водоростей повітряним шляхом (на прикладі м. Києва) // Зб. праць студентів та аспірантів Київ.

- нац. ун-ту ім. Шевченка (природ. науки). — Київ, 1994. — С. 98—103. — Рукопис деп. в ГНТБ України 01.03.94.
23. *Лисиченко Г.В.* Про стан та вдосконалення системи техногенно-екологічної безпеки на об'єктах ядерно-паливного циклу України // Вісн. НАН України. — 2012. — № 6. — С. 20—26.
 24. *Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями* / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк та ін. — К.: Символ-Т, 1998. — 28 с.
 25. *Мордугай-Болтовской Ф.Д.* Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов (обзор) // Тр. Ин-та биологии внутр. вод. — 1975. — Вып. 27 (30). — С. 7—69.
 26. *Незбрицкая И.Н., Курейшевич А.В.* Механизмы резистентности водорослей к высоким температурам (обзор) // Гидробиол. журн. — 2013. — Т. 49, № 6. — С. 37—55.
 27. *Оксіюк О.П.* Водоросли каналов мира. — Киев: Наук. думка, 1973. — 208 с.
 28. *Оксіюк О.П., Стольберг Ф.В.* Управление качеством воды в каналах. — Киев: Наук. думка, 1986. — 176 с.
 29. *Остапеня А.П., Жукова Т.В., Михеева Т.М.* Бентификация как этап эволюции Нарочанских озер // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. — 2011. — № 3. — С. 62—66.
 30. *Остапеня А.П., Жукова Т.В., Михеева Т.М. и др.* Бентификация озерной экосистемы: причины, механизмы, возможные последствия, перспективы исследований // Тр. Белорус. ун-та. — 2012. — Т. 7, ч. 1. — С. 135—148.
 31. *Пигдайко М.А., Гринь В.Г.* Итоги изучения гидробиологического режима пресных водоемов-охладителей ТЭС Украины // Гидробиол. журн. — 1970. — Т. 6, № 2. — С. 36—44.
 32. *Пигдайко М.А., Гринь В.Г., Поливанная М.Ф. и др.* Гидробиологический режим водоемов-охладителей ТЭС Украины // Там же. — 1967. — Т. 3, № 5. — С. 81—92.
 33. *Порядок розробки регламенту гідробіологічного моніторингу водойми-охолоджувача, систем охолодження і системи технічного водопостачання АЕС з реакторами типу ВВЕР. Методичні вказівки.* СТП 0.03.088-2010. — К., 2010. — 48 с.
 34. *Природа* Белоруссии: Популярная энциклопедия. — Минск: БелСЭ, 1989. — 599 с.
 35. *Протасов А.А.* Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология. — Киев, 2008. — 106 с.
 36. *Протасов А.А.* Концептуальные модели процессов контуризации в водных экосистемах // Гидробиол. журн. — 2013. — Т. 49, № 5. — С. 3—22.
 37. *Протасов А.А., Немцов А.А., Масько А.Н., Силаева А.А.* Концепция техно-экосистемы и ее значение для развития экологической политики в атомной энергетике Украины // Ядерная энергетика та довкілля. — 2013. — № 1. — С. 59—62.
 38. *Протасов А.А., Панасенко Г.А., Бабарига С.П.* Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типизация и основные гидро-

- биологические принципы ограничения // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 36—53.
39. Протасов А.А., Силаева А.А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС. — Киев, 2012. — 274 с.
 40. Протасов А.А., Силаева А.А., Ярмошенко Л.П. и др. Гидробиологические исследования техно-экосистемы Запорожской АЭС // Гидробиол. журн. — 2013. — Т. 49, № 2. — С. 78—94.
 41. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ / Отв. ред. Н. В. Кондратьева. — Киев: Наук. думка, 1989. — 232 с.
 42. Ролл Я.В. Тридцять років роботи Інституту гідробіології АН УРСР // Вісн. АН УРСР. — 1947. — № 8 (136). — С. 96—104.
 43. Романенко В.Д., Кузьменко М.І., Афанасьєв С.О. та ін. Гідроекологічна безпека атомної енергетики в Україні // Вісн. НАН України. — 2012. — № 6. — С. 41—51.
 44. Сакевич О.Й., Усенко О.М. Алелопатія в гідроекосистемах. — К.: Логос, 2008. — 341 с.
 45. Салахутдинов А.Н., Шакирова Ф.М. Возможные последствия от вселения чужеродных видов в Куйбышевское водохранилище // Чужеродные виды в Голарктике (Борок-2): Тез. докл. Второго междунар. симп. по изуч. инвазийных видов, Борок, 27 сент. — 1 окт. 2005 г. — Борок, 2005. — С. 26—27.
 46. Тарасенко Л.В. Фитопланктон Иваньковского водохранилища в зоне воздействия теплых вод Конаковской ГРЭС в 1973 г. // Биологический режим водоемов-охладителей ТЭЦ и влияние температуры на гидробионтов. — М.: Наука, 1977. — С. 33—42.
 47. Теплоэнергетика и окружающая среда. Гидротермический и гидрохимический режим водохранилища-охладителя Литовской ГРЭС. — Вильнюс: Мокслас, 1981. — Т. 1. — 163 с.
 48. Теплоэнергетика и окружающая среда. Влияние термического режима водохранилища-охладителя Литовской ГРЭС на его гидробионты. — Вильнюс: Мокслас, 1981. — Т. 2. — 167 с.
 49. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Протасова. — Киев, 2011. — 234 с.
 50. Шаларь В.М., Яловицкая Н.И. Развитие фитопланктона в Кучурганском лимане-охладителе Молдавской ГРЭС // Гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей тепловых электростанций СССР / Отв. ред. М. Л. Пидгайко. — Киев: Наук. думка, 1971. — С. 117—135.
 51. Шкорбатов Г.Л., Васенко А.Г., Быц И.Д. О влиянии сброса подогретых вод ТЭС на биологический режим водоемов-охладителей // Вестн. Харьк. ун-та. — 1976. — № 135. — С. 87—89.
 52. Щербак В.И. Многолетняя динамика «цветения» воды днепровских водохранилищ // Доп. НАН України. — 1998. — № 7. — С. 187—190.
 53. Щербак В.І., Майстрова Н.В. Фітопланктон Київської ділянки Канівського водоймища та чинники, що його визначають. — К., 2001. — 70 с.
 54. Экосистема водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС. — Минск: Право и экономика, 2008. — 144 с.

55. Якушин В.М., Щербак В.І., Плігін Ю.В., Майстрова Н.В. Оцінка стану біоти Київського водосховища в зимовий період 2010 року // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. вип. Гідроекологія. — 2010. — № 2 (43). — С. 566—569.
56. Bain M.B., Steeger T.M., Tangedal M.D. Feasibility of grass carp for *Hydrilla* control in a mainstream Tennessee river reservoir // Report prepared for Fisheries and Aquatic Ecology Branch. — Tennessee: Valley Authority, Muscle Shoals, 1989. — P. 153—158.
57. Bates L.A., Webb D.H. White amur research in reservoir embayments of the Tennessee River System // Proc. of the 21st Annu. meeting, aquat. plant control research program. — Vicksburg, 1986. — P. 141.
58. Berry P.S. Power system facilities: their impact upon ecology // Power plant siting its impact on system planning and environment. — New York, 1971. — P. 13—16.
59. Boyd W.A., Stewart R.M. Preliminary simulation results of triploid white amur stocking rates for Guntersville reservoir using AMURSTOCK (Version 1.5) // Proc. of the 24th Annu. meeting aquat. plant control research program, Huntsville, Alabama, 13—16 Nov. 1989. — Vicksburg, 1990. — P. 247—260.
60. Brungs W.A. Effects of heated water from nuclear plants on aquatic life // Nuclear Power and the Public. — Minneapolis, 1970. — P. 52—59.
61. Downing J.A., Van Meter P., Woolnough D.A. Suspects and evidence: a review of the causes of extirpation and decline in freshwater mussels // Animal Biodiversity and Conservation. — 2010. — Vol. 33, N 2. — P. 151—185.
62. Fahnenstiel G.L., Bridgerman T.B., Lang G.A. et al. Phytoplankton productivity in Saginaw Bay, Lake Huron // J. Great Lakes Res. — 1995. — Vol. 21, N 4. — P. 465—475.
63. Hillbricht-Ilkowska A., Zdanowski B., Ejsmont-Karabinowa J. et al. Produkcja pierwotna i wtorna planktonu jezior podgrzanych // Rocz. Nauk Rol., ser. H. — 1976. — T. 97, N 3. — S. 69—85.
64. Karatayev A.Y., Burlakova L.E., Padilla D.K. The effects of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on aquatic communities in Eastern Europe // Acta hidrobiol. — 1979. — Vol. 21, N 3. — P. 243—259.
65. Karatayev A., Burlakova L., Padilla D. Impacts of Zebra mussels on aquatic communities and their role as ecosystem engineers // Invasive aquatic species of Europe. Distribution, impacts and management. — Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 2002. — P. 433—446.
66. Kennedy V.S., Mihursky J.A. Bibliography of the effects of temperature in the aquatic environment // Natur. Res. Inst. Contrib. — 1967. — 326 p.
67. Mellina E., Rasmussen J.B., Mills E.L. Impacts of Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on phosphorus cycling and chlorophyll in lakes // Canad. Fish. Aquat. Sci. — 1995. — Vol. 52. — P. 2553—2573.
68. Merriman D. Power stations and aquatic ecology // Proc. of the III Amer. Power conf. — Chicago, 1972. — P. 48—52.
69. Socha D. Zmiany jakości wody i trofii podgrzanych jezior Konińskich. — Kolin, 1997. — 72 s.

70. *Sosnowska J.* Wplyw zrzutu wod podgrzanych na fitoplankton niektorych jezior kolo Konina // *Rocz. Nauk Rol., ser. H.* — 1987. — Т. 101, N 3. — S. 130.
71. *Stocker, R.K., Hagstrom N.T.* Control of submerged aquatic plant with triploid grass carp in Southern California irrigation canals / *Proc. of the 5th Annu. Conf., Intern. symp. Appl. Lake and Watershed Management, Lake and Reservoir Management.* — 1985. — Vol. 2. — P. 41—45.
72. *Turner C.B.* Influence of zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena rostriformis*) mussel invasions on benthic nutrient and oxygen dynamics // *Canad. J. Fish. Aquat. Sci.* — 2010. — Vol. 67. — P. 1899—1908.
73. *Van Donk E., van de Bung W. J.* Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms // *Aquat. Botany.* — 2002. — N 72. — P. 261—274.

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

Поступила 22.04.14