

УДК 574.583 (28) + 581.526.325

*П. Д. Клоченко, Т. Ф. Шевченко, И. Н. Незбрицкая,  
Е. П. Белоус, З. Н. Горбунова, С. В. Батог*

**ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА  
ВОДОЕМОВ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ  
СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА И ФОСФОРА**

Количественно оценено соотношение процессов фотосинтеза и деструкции органического вещества в водоемах дендропарка «Александрия» (г. Белая Церковь), большинство из которых испытывает интенсивную антропогенную нагрузку. Показано, что амплитуда колебаний продукционных характеристик фитопланктона прудов определяется, прежде всего, содержанием неорганических соединений азота и фосфора в воде. Преобладание деструкции ( $R$ ) над продукцией ( $A$ ), а также приближение отношения  $A/R$  к 1, наблюдаемые в большинстве исследованных прудов, свидетельствуют об интенсивном протекании процессов самоочищения. Отставание деструкции от продукции в прудах Восточной балки указывает на снижение самоочистительного потенциала.

*Ключевые слова:* продукция, деструкция, биогенные элементы, фитопланктон, пигменты, биотический баланс, самоочищение.

В настоящее время особую важность приобрела проблема охраны окружающей среды и существующего биоразнообразия, в связи с чем пристальное внимание уделяется объектам природно-заповедного фонда [26, 27, 32, 33, 37]. В отличие от биоты водных объектов урбанизированных ландшафтов [16—18, 20—25, 34—36], автотрофное звено водоемов природно-заповедных территорий остается недостаточно изученным.

Особое внимание к дендропарку «Александрия» определяется тем, что некоторые пруды, расположенные на его территории, характеризуются экстремально высокой концентрацией неорганических соединений азота [5, 6, 8].

Известно, что изменение режима биогенных элементов в водоемах приводит к повышению уровня их биопродуктивности, изменению видового состава биологических сообществ, нарушению устойчивости трофических

© П. Д. Клоченко, Т. Ф. Шевченко, И. Н. Незбрицкая, Е. П. Белоус,  
З. Н. Горбунова, С. В. Батог, 2019

связей и соотношения продукционно-деструкционных процессов, что сопровождается снижением интенсивности процессов самоочищения.

При оценке состояния водных объектов все чаще используются методы биоиндикации, базирующиеся на реакции гидробионтов и их сообществ на воздействие экологических факторов, в том числе антропогенных [1, 13, 14, 19, 31]. В частности, особенности продукционно-деструкционных процессов, протекающих в толще воды с участием водорослей, а также их соотношение, используются для определения биотического баланса и оценки степени загрязнения водоемов [2].

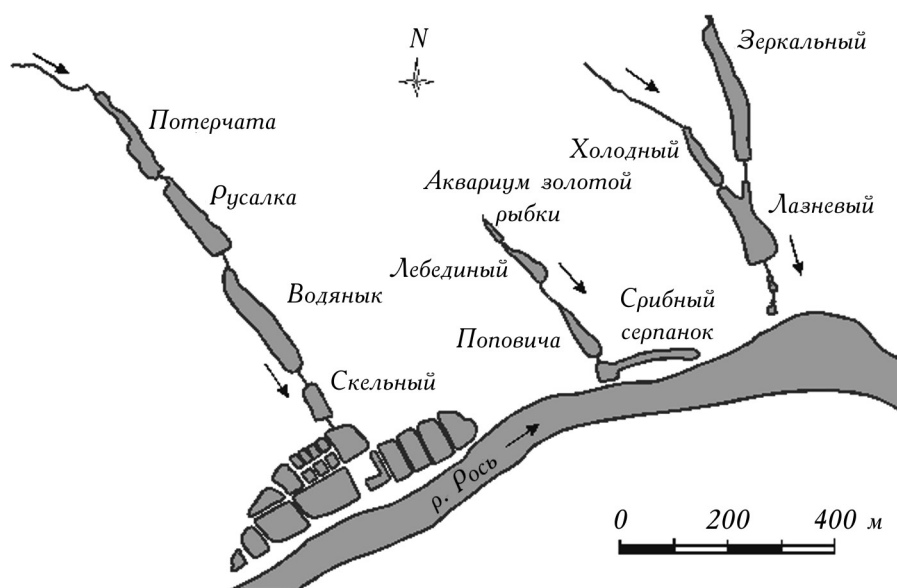
Известно, что интенсивность процессов продуцирования органического вещества зависит от количества и состава растительных пигментов в клетках водорослей [2]. Однако экологический смысл этих маркеров при воздействии неблагоприятных факторов среды, в частности при значительном повышении концентрации биогенных элементов, полностью не изучен.

Цель работы состояла в оценке валовой первичной продукции фитопланктона и деструкции органического вещества в толще воды прудов дендропарка «Александрия», различающихся по степени антропогенной нагрузки.

**Материал и методика исследований.** Первичную продукцию фитопланктона и деструкцию органического вещества исследовали летом 2017 г. в 11 прудах дендропарка «Александрия», расположенных в Западной, Средней и Восточной балках в виде каскадов (рис. 1). Съемку производили в двух повторностях в каждом водоеме. Использовали кислородно-скляночный метод [12] при суточном экспонировании проб в поверхностных горизонтах воды. Пробы фитопланктона отбирали с помощью батометра Рутнера. Камеральная обработка альгологического материала проведена с применением общепринятых методик [11]. Содержание хлорофилла *a* и общее количество каротиноидов определяли спектрофотометрически в ацетоновых экстрактах и рассчитывали по соответствующим формулам [15, 30]. Концентрацию аммонийного, нитритного и нитратного азота, а также неорганического фосфора в воде определяли колориметрическим методом [10]. Прозрачность воды измеряли с помощью диска Секки. Для оценки морфометрических характеристик водоемов, в частности длины, ширины и площади, использованы космические снимки (база данных Google Earth). Расчёт указанных параметров проведен с помощью программы AutoCAD 2010.

### *Результаты исследований и их обсуждение*

*Общая характеристика водоемов.* Одним из объектов дендропарка «Александрия» являются каскады прудов, которые наполняются за счет родников. В Восточной балке устроено три декоративных пруда, находящихся на разных уровнях. Зеркальный и Холодный пруды сбрасывают свои воды через Большой и Малый водопады в третий пруд — Лазневый. Площадь прудов составляет соответственно 0,74, 0,25 и 0,72 га (табл. 1).



1. Карта-схема прудов дендропарка «Александрия».

**1. Морфометрические характеристики прудов дендропарка «Александрия»**

Показатели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Площадь, га	0,41	0,53	0,82	0,19	0,05	0,19	0,24	0,42	0,25	0,74	0,72
Длина, м	186	180	238	73	55	100	125	200	132	270	168
Максимальная ширина, м	33	47	44	33	12	30	32	41	27	41	60
Средняя ширина, м	22	29	35	27	9	20	19	21	19	28	43
Глубина, м	1,5	1,5	2,5	2,5	0,7	1,0	2,0	1,5	1,5	2,0	2,5
Прозрачность, м	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7

Примечание. Пруды: 1 — Потерчатая; 2 — Русалка; 3 — Водянык; 4 — Сельный; 5 — Аквариум Золотой Рыбки; 6 — Лебединый; 7 — Поповича; 8 — Срибный Серпанок; 9 — Холодный; 10 — Зеркальный; 11 — Лазневый.

В Средней балке расположен наименьший пруд — Аквариум Золотой Рыбки (площадь около 0,05 га). За счет небольшого водопада он переливается в пруд Лебединый (0,19 га). В средней части каскада находится пруд Поповича (0,24 га), а замыкает каскад пруд Срибный Серпанок (0,42 га).

В Западной балке расположен каскад прудов, включающий четыре водоема: Потерчатая, Русалка, Водянык и Сельный. Их площадь составляет соответственно 0,41, 0,53, 0,82 и 0,19 га.

Исследуемые пруды являются довольно сходными по морфометрическим характеристикам (табл. 1). В частности, их глубина в большинстве случаев находится в пределах 1,0—2,0 м, а прозрачность колеблется от 0,4 до 0,7 м. Все пруды являются искусственными водоемами. Расположение каскадов на расстоянии 350—400 м друг от друга свидетельствует о том, что исследуемые водные объекты находятся в условиях практически одинаковой интенсивности освещения их акватории.

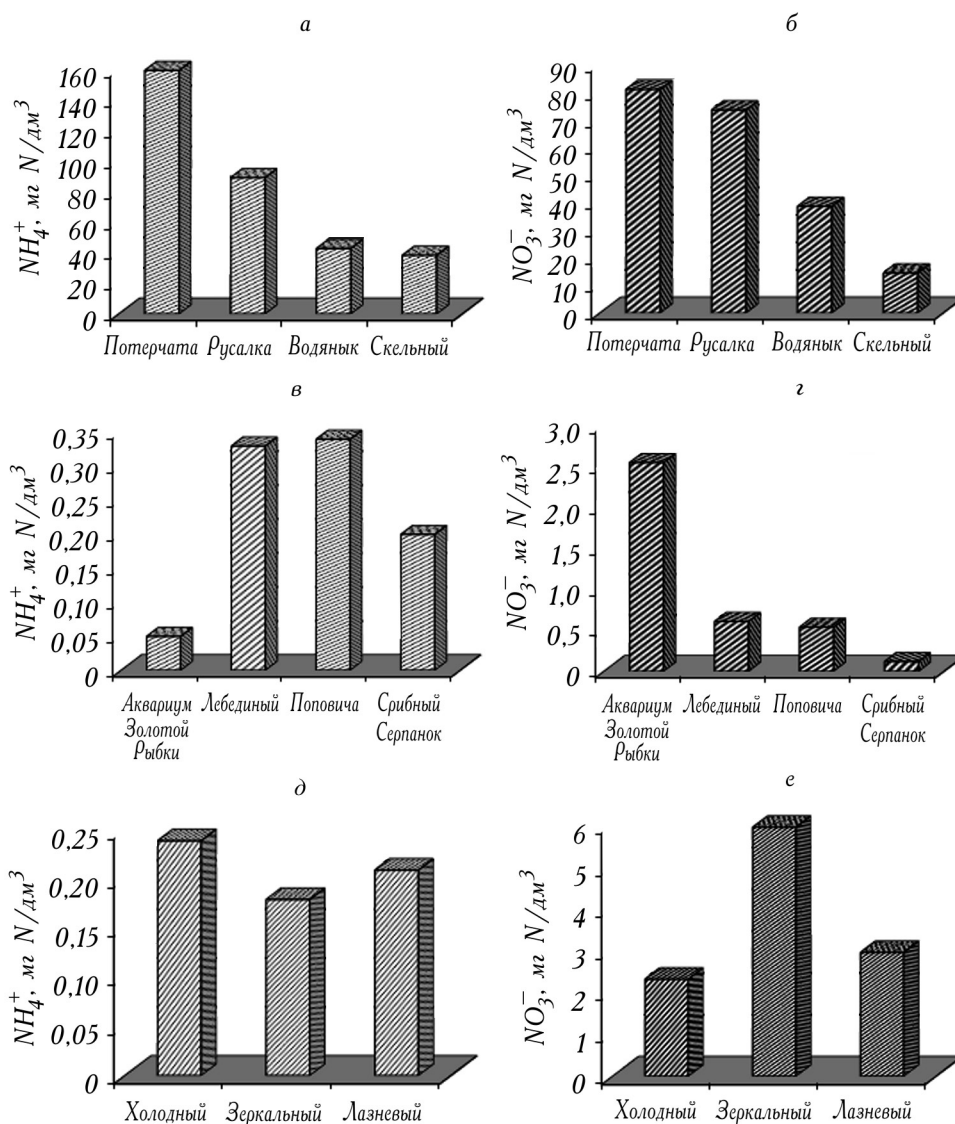
Для большинства исследуемых прудов характерно очень слабое зарастание водного зеркала высшими водными растениями, представленными всего девятью видами. В прудах Лебединый и Аквариум Золотой Рыбки макрофиты вообще отсутствовали, тогда как в остальных водоемах встречались лишь один—три их вида. Это преимущественно воздушно-водные растения (*Acorus calamus* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Typha latifolia* L., *Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holmb., *Carex* sp.), которые образуют небольшие куртины. Растения с плавающими листьями представлены *Nuphar lutea* (L.) Smith (в прудах Водянык и Срибный Серпанок) и *Nymphaea alba* L. (в прудах Поповича и Срибный Серпанок). Погруженные растения найдены только в пруду Зеркальном (*Myriophyllum verticillatum* L.) и в пруду Поповича (*Potamogeton pectinatus* L.).

*Гидрохимический режим* любого водоема наиболее полно отражает уровень биогенных элементов, в первую очередь азота и фосфора. Высокое содержание этих элементов приводит к значительному ухудшению состояния водной среды.

Проведенные гидрохимические исследования показали, что исследованные водоемы существенно различаются по содержанию биогенных элементов, в первую очередь неорганических соединений азота, что обусловлено разной степенью антропогенной нагрузки. Так, если концентрация аммонийного азота в прудах Средней балки находилась в пределах 0,05—0,34 мг N/дм<sup>3</sup>, а в прудах Восточной балки колебалась от 0,18 до 0,24 мг N/дм<sup>3</sup>, то в прудах Западной балки она составляла 38,5—160,0 мг N/дм<sup>3</sup> и была наиболее высокой в первом пруду (рис. 2).

Довольно существенной была разница и в содержании нитратов. Результаты исследований показали, что в прудах Восточной балки концентрация нитратного азота колебалась от 2,32 до 5,95 мг N/дм<sup>3</sup>, в прудах Средней балки она находилась в пределах 0,12—2,55 мг N/дм<sup>3</sup>, а в прудах Западной балки достигала значений 14,5—81,25 мг N/дм<sup>3</sup> и была максимальной в пруду Потерчата (см. рис. 2).

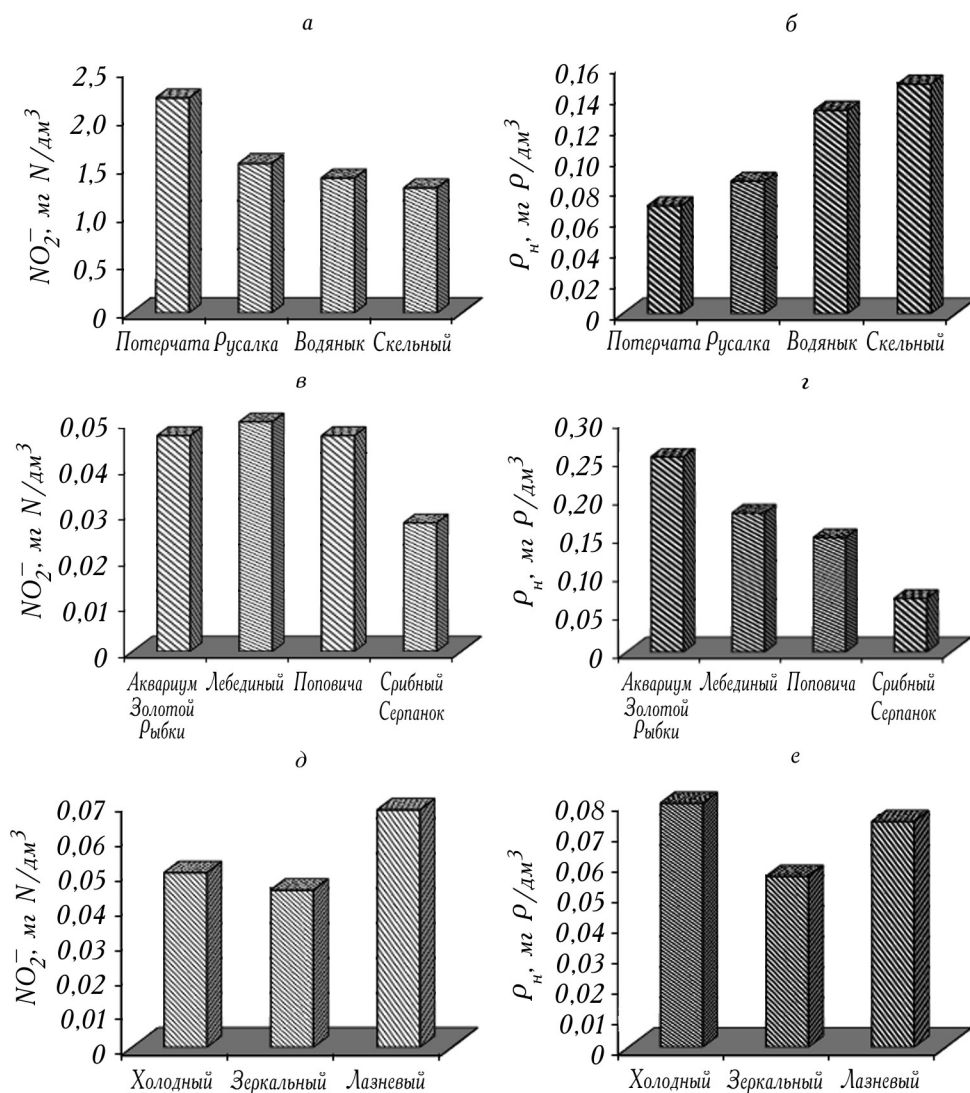
Исследованные пруды заметно отличались и по содержанию нитритного азота в воде. Концентрация нитритов в прудах Западной балки заметно превышала их концентрацию в прудах Средней и Восточной балок: если в прудах первой балки содержание нитритного азота находилось в пределах 1,288—2,213 мг N/дм<sup>3</sup>, то во второй — колебалось от 0,028 до 0,050 мг N/дм<sup>3</sup>, а в третьей — достигало значений 0,045—0,068 мг N/дм<sup>3</sup> (рис. 3).



2. Содержание аммонийного (а, в, д) и нитратного (б, г, е) азота в прудах Западной (а, б), Средней (в, г) и Восточной (д, е) балок дендропарка «Александрия».

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что пруды Западной балки подвержены значительному загрязнению неорганическими соединениями азота.

Необходимо подчеркнуть, что разница в концентрации неорганических соединений фосфора в воде исследованных водоемов была не столь существенной. Так, содержание этого элемента в прудах Западной балки находилось в пределах 0,070—0,149 мг P/дм³, в прудах Средней балки оно составля-



3. Содержание нитритного азота (а, в, д) и неорганического фосфора (б, г, е) в прудах Западной (а, б), Средней (в, г) и Восточной (д, е) балок дендропарка «Александрия».

ло 0,070—0,254 мг Р/дм<sup>3</sup>, а в прудах Восточной балки колебалось от 0,056 до 0,080 мг Р/дм<sup>3</sup> (см. рис. 3).

**Фитопланктон.** Всего в толще воды исследованных прудов выявлено 124 вида водорослей из восьми отделов: Cyanoprokaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Bacillariophyta, Dinophyta, Chlorophyta и Charophyta.

Фитопланктон прудов Западной балки представлен 74 видами. Водоемы этой системы заметно различались как по видовому богатству, так и по оби-



лию планктонных водорослей. Наименьшее количество видов обнаружено в первых двух прудах (соответственно 22 и 27), тогда как в других прудах оно увеличивалось практически в два раза и составляло в пруду Водянык 49, а в пруду Скельном — 47 видов. Показатели обилия фитопланктона при этом изменялись от 1210 тыс. кл/дм<sup>3</sup> и 1,281 мг/дм<sup>3</sup> (в первом пруду) до 59 885 тыс. кл/дм<sup>3</sup> и 27,400 мг/дм<sup>3</sup> (в четвертом).

В прудах Средней балки выявлено 78 видов планктонных водорослей. Распределение видового богатства фитопланктона в исследуемых водоемах было неравномерным. Так, в первом пруду количество видов составляло 39, во втором — 25, в третьем — 28 и в четвертом — 46. Наиболее обильным оказался фитопланктон пруда Срибный Серпанок (численность — 23 380 тыс. кл/дм<sup>3</sup>, биомасса — 7,553 мг/дм<sup>3</sup>). В других прудах численность планктонных водорослей находилась в пределах 1570—5616 тыс. кл/дм<sup>3</sup>, а биомасса варьировала от 1,764 до 2,561 мг/дм<sup>3</sup>.

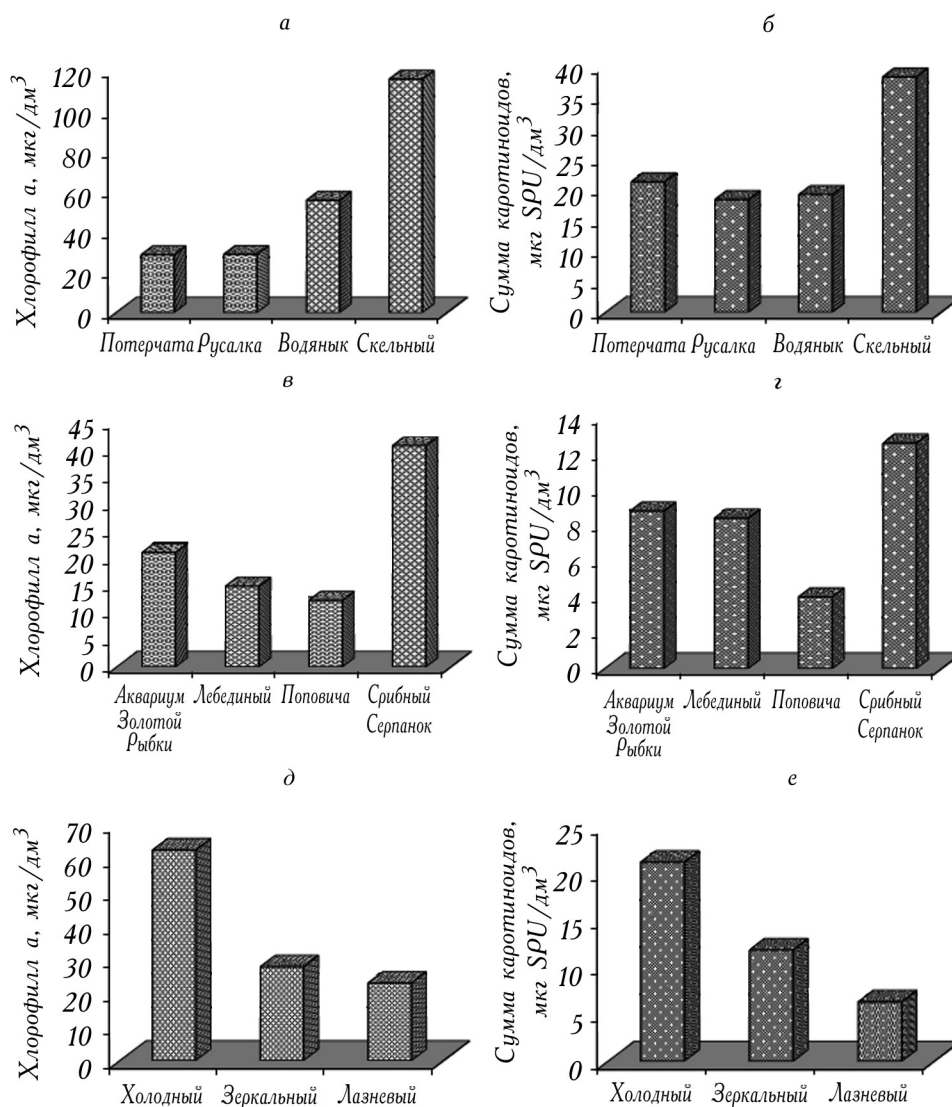
В толще воды прудов Восточной балки обнаружено 57 видов водорослей. Наибольшим видовым богатством характеризовались пруды Лазневый и Зеркальный (соответственно 34 и 31 вид), а наименьшим — пруд Холодный (26 видов). Во всех водоемах по количеству видов преобладали зеленые водоросли. Численность фитопланктона находилась в пределах 6765—22516 тыс. кл/дм<sup>3</sup> и была наибольшей в пруду Лазневой. Что касается биомассы, то она составляла в пруду Холодном 6,544 мг/дм<sup>3</sup>, в пруду Зеркальном — 15,291 и в пруду Лазневом — 5,754 мг/дм<sup>3</sup>.

*Пигменты фитопланктона.* Среди природных индикаторов продуктивности разных экологических групп водорослей важное место занимает основной фотосинтетический пигмент — хлорофилл *a*. Его концентрация в фитопланктоне закономерно связана с биомассой водорослей, интенсивностью фотосинтеза и служит показателем качества воды.

Пигментные показатели в исследованных водоемах характеризовались значительными колебаниями, которые, по-видимому, были обусловлены экологическими условиями и биологическими особенностями водорослей планктона. Так, содержание хлорофилла *a* в прудах Западной балки изменялось от 28,7 до 115,9 мкг/дм<sup>3</sup> (рис. 4). Максимум содержания зеленого пигмента зарегистрирован в пруду Скельном и соответствовал максимальному значению биомассы водорослей.

Обращает на себя внимание меньшее варьирование концентрации основного фотосинтетического пигмента в других прудах. Так, в водоемах Средней балки диапазон колебаний этого показателя составлял 12,2—40,6 мкг/дм<sup>3</sup>, а в прудах Восточной балки содержание хлорофилла *a* изменялось от 23,0 до 62,4 мкг/дм<sup>3</sup> (см. рис. 4).

Учитывая тот факт, что каротиноиды являются важными компонентами как пигментной системы водорослей, так и их антиоксидантной системы, которая защищает фотосинтетические структуры растений от деструктивного влияния внешних факторов [38], определяли содержание и этих пигментов. Показано, что распределение каротиноидов в планктоне исследо-



4. Содержание хлорофилла *a* (а, в, д) и каротиноидов (б, г, е) в фитопланктоне прудов Западной (а, б), Средней (в, г) и Восточной (д, е) балок дендропарка «Александрия».

ванных водоемов носит неравномерный характер. Так, в период наблюдений содержание каротиноидов в поверхностном горизонте прудов Западной балки изменялось от 18,4 до 38,4 мкгSPU/дм<sup>3</sup> (см. рис. 4). Заметно меньшим количеством желтых пигментов характеризовались пруды, испытывающие наибольшую антропогенную нагрузку.

Среди водоемов Средней балки максимальное содержание каротиноидов наблюдалось в пруду Срибный Серпанок, где оно составляло



12,6 мкг SPU/дм<sup>3</sup>, а минимальное его количество (4,0 мкг SPU/дм<sup>3</sup>) отмечено в пруду Поповича (см. рис. 4).

В водоемах Восточной балки наибольшее содержание каротиноидов было зарегистрировано в пруду Холодном (21,1 мкг SPU/дм<sup>3</sup>), а наименьшее — в пруду Лазневом (6,3 мкг SPU/дм<sup>3</sup>), в пруду Зеркальном оно составляло 11,8 мкг SPU/дм<sup>3</sup> (рис. 4).

В целом, динамика каротиноидов во всех исследованных водоемах коррелировала с изменением содержания хлорофилла *a*. Между этими параметрами и биомассой фитопланктона получена тесная зависимость с высоким коэффициентом корреляции ( $r = 0,85$  и  $r = 0,71$ ,  $p \leq 0,01$ , соответственно для хлорофилла *a* и каротиноидов).

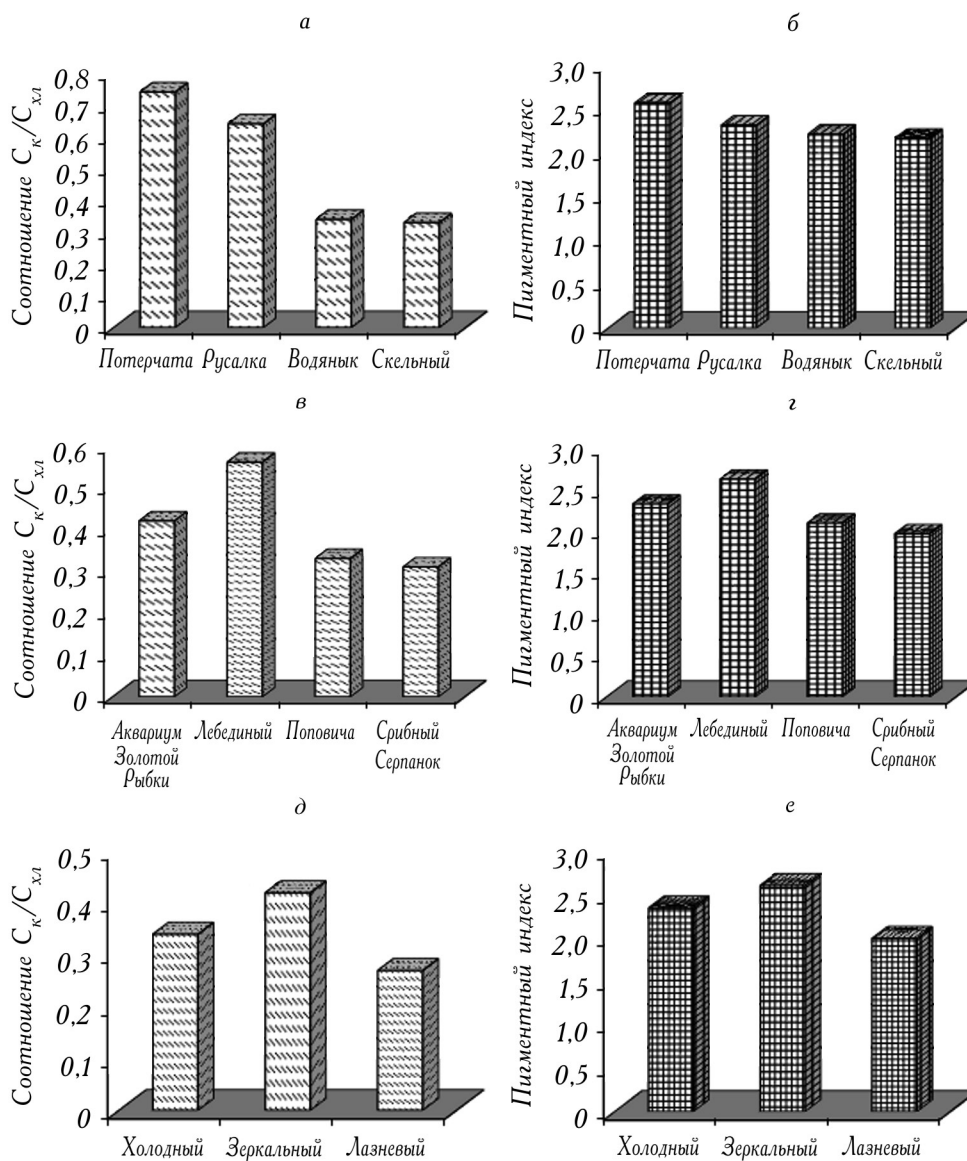
Отношение суммы каротиноидов к хлорофиллу *a* ( $C_K/C_{ХЛ}$ ) может служить важным показателем физиологического состояния клеток фитопланктона [4]. Каротиноиды — более стабильный компонент пигментной системы, чем хлорофилл *a*. Поэтому при старении популяции планктонных водорослей и при воздействии неблагоприятных факторов среды, которые способствуют деструкции хлорофилла *a*, величина этого показателя возрастает.

Самая высокая величина отношения  $C_K/C_{ХЛ}$  (0,74) во время наблюдений была характерна для первого пруда Западной балки, испытывающего наибольшую антропогенную нагрузку неорганическими соединениями азота, суммарное содержание которых составляло 243,4 мг N/дм<sup>3</sup>. С уменьшением степени загрязнения величина отношения  $C_K/C_{ХЛ}$  уменьшалась и в других прудах этого каскада она находилась в пределах 0,64—0,36 (рис. 5).

Наибольшее значение отношения  $C_K/C_{ХЛ}$  в водоемах Средней балки было характерно для пруда Лебединого (0,56), а наименьшее — для прудов Поповича и Срибный Серпанок (соответственно 0,33 и 0,31). Отношение суммы каротиноидов к хлорофиллу *a* планктона прудов Восточной балки варьировало в пределах 0,27—0,42 (см. рис. 5).

Наряду с отношением  $C_K/C_{ХЛ}$  часто рассчитывают и так называемый пигментный индекс ( $E_{430}/E_{665}$ ), предложенный Маргалеффом [28, 29].  $E_{430}/E_{665}$  в отличие от  $C_K/C_{ХЛ}$ , отражает количественное соотношение между суммой каротиноидов + хлорофилл *a* и хлорофиллом *a*. По нашим наблюдениям, характер пигментного индекса хорошо согласовывался с отношением  $C_K/C_{ХЛ}$  (см. рис. 5). Значения  $E_{430}/E_{665}$  варьировали в пределах 1,97—2,63, обычных для нормально функционирующего фитопланктона [2]. Повышенные значения  $C_K/C_{ХЛ}$  и  $E_{430}/E_{665}$  свидетельствуют об изменении в физиологическом состоянии фитопланктона в прудах, находящихся под воздействием загрязняющих веществ.

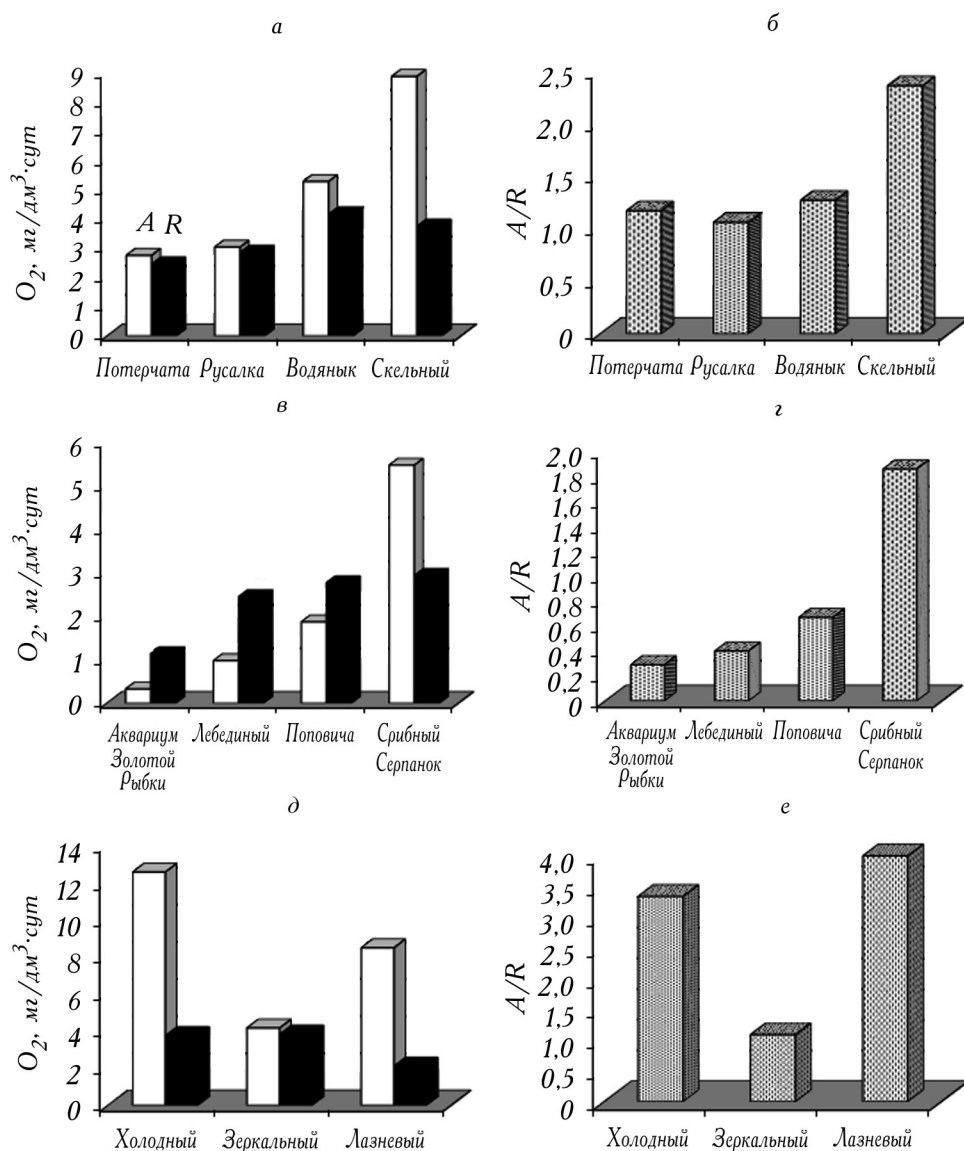
*Продукционно-деструкционные процессы.* Расчеты валовой первичной продукции показали, что образование органического вещества за счет водорослей планктона имело место во всех исследованных водоемах, которые,



5. Отношение каротиноиды/хлорофилл *a* ( $C_k/C_{chl}$ ) (а, в, д) и пигментный индекс ( $E_{430}/E_{665}$ ) (б, з, е) для фитопланктона прудов Западной (а, б), Средней (в, з) и Восточной (д, е) балок дендропарка «Александрия».

однако, отличались по характеру протекания процессов первичного продуцирования.

Судя по полученным данным, валовая продукция фитопланктона (*A*) была наибольшей в прудах Восточной балки, где она составляла 4,17—12,57 мг  $O_2/дм^3\cdotсут.$  Среди водоемов этой группы наиболее продуктивным оказался пруд Холодный (рис. 6).



6. Первичная продукция фитопланктона (A), деструкция органического вещества (R) и их отношение (A/R) в прудах Западной (а, б), Средней (в, г) и Восточной (д, е) балок дендропарка «Александрия».

Интенсивность первичного продуцирования в воде прудов Западной балки находилась в пределах 2,75—8,86 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>·сут (см. рис. 6). Здесь наблюдается обратная зависимость между величинами первичной продукции и содержанием неорганических соединений азота ( $r = -0,87, p \leq 0,01$ ). Очевидно, их экстремально высокая концентрация в первых двух прудах оказывала ингибирующее влияние на фотосинтетическую деятельность фитопланктона. По мере уменьшения содержания аммонийного и нитратного азота в

воде происходило увеличение валовой первичной продукции. Такой факт отмечали и другие авторы [7].

Сопоставление продукционных возможностей фитопланктона вышеупомянутых водоемов с концентрацией неорганических соединений фосфора позволяет предположить наличие их положительного эффекта на интенсивность фотосинтеза (см. рис. 3 и рис. 6). Известно [3], что максимальная концентрация  $P_{\text{общ.}}$ , до которой возможно активное развитие водорослей, составляет около  $1,0 \text{ мг/дм}^3$ , при более высоких значениях активность фитопланктона снижается. Такие концентрации не регистрировались в исследованных нами водоемах. Отсюда следует, что увеличение концентрации неорганического фосфора могло оказывать стимулирующее влияние на фотосинтетические процессы ( $r = 0,93, p \leq 0,001$  и  $r = 0,96, p \leq 0,001$ , соответственно для водоемов Западной и Восточной балок).

Результаты наблюдений показали, что величины первичной продукции в прудах Средней балки изменялись в широких пределах — от  $0,33$  до  $5,47 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3\cdot\text{сут}$ . При этом интенсивность фотосинтеза фитопланктона была наибольшей в пруду Срибный Серпанок, а наименьшей — в пруду Аквариум Золотой Рыбки (см. рис. 6). Такой диапазон колебаний величин первичной продукции, по-видимому, связан со спецификой развития фитопланктона, по численности и биомассе которого исследованные пруды заметно отличались.

В продукционных исследованиях, наряду с первичной продукцией, чрезвычайно важна также и оценка скорости потребления кислорода фитопланктоном, которая соответствует деструкции органического вещества в процессе дыхания водорослей. Определение этого показателя позволяет отметить, что разложение органического вещества ( $R$ ) в исследованных прудах протекало с разной интенсивностью. Так, в прудах Западной балки, подверженных мощному антропогенному прессу, величины  $R$  составили соответственно  $2,46, 2,86, 4,16$  и  $3,75 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3\cdot\text{сут}$  (см. рис. 6).

Пруды Средней балки характеризовались в основном теми же особенностями, что и пруды Западной балки: скорость потребления кислорода увеличивалась по направлению от верхнего пруда к нижнему: Аквариум Золотой Рыбки —  $1,14$ , Лебединый —  $2,45$ , Поповича —  $2,77$  и Срибный Серпанок —  $2,94 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3\cdot\text{сут}$  (см. рис. 6).

Скорость распада органического вещества в планктоне прудов Восточной балки входила в интервал величин, приведенных выше. При этом наибольшие величины деструкции отмечены в прудах Холодном и Зеркальном (соответственно  $3,76$  и  $3,84 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3\cdot\text{сут}$ ). В пруду Лазневом разложение органического вещества в толще воды протекало с меньшей интенсивностью ( $2,12 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3\cdot\text{сут}$ ).

В продукционных исследованиях для характеристики круговорота вещества и энергии в водоемах широко используется соотношение скоростей автотрофных (фотосинтетических) и гетеротрофных (дыхательных) процессов. Идеально сбалансированная водная экосистема должна характеризова-

ться равенством процессов синтеза и деструкции органического вещества. В реальных водоемах, как правило, такой сбалансированности в течение более и менее длительного времени нет. Если отношение  $A/R < 1$ , то это означает, что в биотических процессах водоема значительное участие принимает аллохтонное органическое вещество, в планктоне возрастает доля бактерий и их продукция становится сравнимой с продукцией фитопланктона [2].

Анализ величины эффективности продукционно-деструкционных процессов в прудах Западной балки показал, что в них наблюдался положительный биотический баланс, а отношение  $A/R$  было заметно выше 1 только в пруду Скельном (см. рис. 6). Если учесть, что в эвтрофных водоемах отношение  $A/R$  обычно около 1 или выше [2], то можно утверждать, что пруды Западной балки относятся к эвтрофным водоемам.

Исследования показали, что большинство прудов Средней балки могут служить примером водоемов с отрицательным балансом органического вещества (рис. 6). Так, соотношение  $A/R$  в пруду Аквариум Золотой Рыбки составило 0,29, в пруду Лебедином — 0,40 и в пруду Поповича — 0,67. Эти данные свидетельствуют о том, что количество органических веществ, поступающих в эти пруды с поверхностным стоком, превышает количество веществ, образованных за счет фотосинтеза планктона. Известно, что отрицательным балансом отличаются, как правило, низкопродуктивные водоемы [2], что позволяет отнести вышеуказанные пруды Средней балки к водоемам олиготрофного типа.

Своеобразие продукционно-деструкционных процессов в прудах Восточной балки характеризовалось тем, что здесь отношение  $A/R$  в планктоне было достаточно высоким в двух прудах — Лазневом и Холодном (соответственно 4,0 и 3,34), тогда как в пруду Зеркальном равнялось 1,09. Из этого следует, что пруды Лазневый и Холодный обогащаются органическим веществом преимущественно автохтонного происхождения, а в пруду Зеркальном более заметна роль аллохтонной органики. Пруды Восточной балки в целом можно выделить в отдельную группу, водоемы которой отличаются высокой продукцией фитопланктона. На данном этапе развития пруды Восточной балки соответствуют гипертрофным водоемам.

Известно, что отношение продукции ( $A$ ) к деструкции ( $R$ ) часто используется для оценки степени загрязнения водоемов [2, 9]. Если отношение  $A/R < 1$ , то это означает, что в биотических процессах водоема возрастает доля бактерий и активизируются гетеротрофные процессы, то есть увеличивается скорость окислительной минерализации или деструкции органического вещества в процессе дыхания бактерио- и фитопланктона. Деструкционные процессы преобладали над продукционными только в некоторых прудах Средней балки, что свидетельствует об их интенсивном самоочищении от органического вещества, попадающего в водоемы извне. Вместе с тем, интенсивное потребление кислорода на деструкцию аллохтонного органического вещества приводит к довольно сильному снижению его концентрации в воде.

Если отношение  $A/R$  приближается к 1, что наблюдалось в большинстве прудов Западной балки, то это указывает на повышение уровня метаболизма гетеротрофов и на увеличение доли органического вещества, которое подвергается биологическому окислению и, следовательно, свидетельствует об интенсификации процессов самоочищения.

Положительный баланс продукционно-деструкционных процессов в прудах Восточной балки указывает на то, что биогенные элементы поступают в водоемы извне в минеральной форме. Это способствует гиперпродукции планктонных водорослей, которые из-за короткого жизненного цикла периодически отмирают и разлагаются. Последствие этого — отставание деструкции от продукции и снижение интенсивности процессов самоочищения.

### Заключение

Широкая амплитуда колебаний продукционных характеристик фитопланктона исследованных прудов определяется, прежде всего, разным содержанием неорганических соединений азота и фосфора в воде. Наиболее высокие показатели продукции фитопланктона зарегистрированы в прудах Восточной балки, богатых биогенными элементами, прежде всего нитратами. В первых двух прудах Западной балки избыточная концентрация неорганических соединений азота ингибирует синтез органического вещества, вероятно, за счет деструкции пигментов фитопланктона, о чем свидетельствует низкая концентрация хлорофилла  $a$  и возрастание отношения  $C_k/C_{хл.}$ . По мере уменьшения содержания неорганических соединений азота валовая первичная продукция в прудах Западной балки увеличивалась. В большинстве прудов Средней балки первичная продукция заметно ниже, что, вероятно, обусловлено низкой концентрацией биогенных элементов, лимитирующих развитие фитопланктона.

Мощное антропогенное воздействие на водоемы Западной балки обуславливает изменение направленности баланса органических веществ, выражающееся в угнетении продукционных процессов и активизации деструкционных. Соотношение  $A/R$  меньше единицы, наблюдаемое в некоторых прудах Средней балки, указывает на гетеротрофный характер функционирования их экосистем. Положительный биотический баланс в прудах Восточной балки свидетельствует о приросте органического вещества и происходящем процессе самозагрязнения.

\*\*

*Проведено кількісну оцінку співвідношення процесів фотосинтезу і деструкції органічних речовин у ставках дендропарку «Олександрія» (м. Біла Церква), більшість з яких зазнають антропогенного забруднення. Показано, що амплітуда коливань продукційних характеристик фітопланктону досліджених ставків визначається, перш за все, різним вмістом неорганічних сполук азоту і фосфору у воді. Переважання деструкції ( $R$ ) над продукцією ( $A$ ), а також наближення відношення  $A/R$  до 1, що спостерігається у більшості досліджених ставків, свідчать про їхнє інтенсивне самоочищення. Відставання деструкції від продукції в ставках Східної балки засвідчує зменшення самоочисного потенціалу.*

\*\*



*Relationship between the processes of photosynthesis and organic matter decomposition was assessed in water bodies of the Aleksandriya National Natural Park (the town of Belaya Tserkov), many of which are subjected to anthropogenic load. It has been shown that the range of fluctuations in production characteristics of phytoplankton of the studied ponds is determined mainly by different content of inorganic compounds of nitrogen and phosphorus in the water. A predominance of decomposition (R) over production (A), and also an approximation of A/R ratio to 1 registered in many studied ponds are indicative of a high intensity of the process of self-purification. A predominance of production over decomposition observed in the ponds of the Eastern natural boundary is indicative of the decrease in the intensity of self-purification potential.*

\*\*

1. Афанасьев С.О. Проблеми і розвиток досліджень екологічного стану гідроєкосистем України в аспекті імплементації директив ЄС в галузі довкілля // Гидробиол. журн. — 2018. — Т. 54, № 6. — С. 3—17.
2. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. — Л.: Наука, 1983. — 150 с.
3. Драбкова В.Г. Влияние уровня эвтрофирования на процессы самоочищения озерных вод // Первичная продукция водных экосистем: Материалы междунар. конф., Борок (Россия), 11—16 окт. 2004 г. — Ярославль, 2004. — С. 28—30.
4. Елизарова В.А. Состав и содержание растительных пигментов в водах Рыбинского водохранилища // Гидробиол. журн. — 1973. — Т. 9, № 2. — С. 23—32.
5. Крот Ю.Г., Киризи́й Т.Я., Бабіч Г.Б., Леконцева Т.І. Динаміка гідрохімічного режиму каскаду водойм дендропарку «Олександрія» (м. Біла Церква) при надходженні неорганічних форм азоту з джерельними водами // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2005. — № 1—2. — С. 102—109.
6. Кулик С.М. Динаміка розповсюдження техногенного забруднення у біоосних системах території державного дендропарку «Олександрія» // Пошукова та екологічна геохімія. — 2003. — № 2/3. — С. 58—61.
7. Курейшевич А.В., Яровий О.О., Мантурова О.В. Вплив екстремально високих концентрацій неорганічного азоту на продукційні характеристики фітопланктону // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2017. — № 3. — С. 94—100.
8. Плескач А.Я. Забруднення водойм дендропарку «Олександрія» та його вплив на стан рослинності // Інтродукція рослин. — 2004. — № 2. — С. 80—87.
9. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П. та ін. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. — К., 2001. — 48 с.
10. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 542 с.
11. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР: учебное пособие. — Киев: Вища шк., 1984. — 334 с.

12. Хромов В.М., Семин В.А. Методы определения первичной продукции в водоемах. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. — 124 с.
13. Afanasyev S.A. Development of European approaches to biological assessment of the state of hydroecosystems and their application to the monitoring of Ukrainian Rivers // *Hydrobiol. J.* — 2002. — Vol. 38, N 4. — P. 130—147.
14. Barinova S.S., Klochenko P.D., Bilous E.P. Algae as indicators of the ecological state of water bodies: methods and prospects // *Ibid.* — 2015. — Vol. 51, N 6. — P. 3—21.
15. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*<sub>1</sub> and *c*<sub>2</sub> in higher plants, algae und natural phytoplankton // *Biochem. and Physiol. Pflanzen.* — 1975. — Vol. 167, N 2. — P. 191—194.
16. Kharchenko G.V., Shevchenko T.F., Klochenko P.D. Comparative characteristics of phytoepiphyton of water bodies of Kiev // *Hydrobiol. J.* — 2009. — Vol. 45, N 5. — P. 15—23.
17. Klochenko P.D., Kharchenko G.V., Shevchenko T.F. Peculiarities of the distribution of epiphyton algae in water bodies of Kiev // *Ibid.* — 2012. — Vol. 48, N 3. — P. 39—51.
18. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Kharchenko G.V. Structural organization of phytoplankton and phytoepiphyton of the lakes of Kiev // *Ibid.* — 2013. — Vol. 49, N 4. — P. 47—63.
19. Klochenko P., Shevchenko T., Barinova S., Tarashchuk O. Assessment of the ecological state of the Kiev Reservoir by the bioindication method // *Oceanol. Hydrobiol. St.* — 2014. — Vol 43, Iss. 3. — P. 228—236.
20. Klochenko P. D., Shevchenko T. F., Vasilchuk T.A. et al. On the ecology of phytoepiphyton of water bodies of the Dnieper river basin // *Hydrobiol. J.* — 2014. — Vol. 50, N 3. — P. 41—54.
21. Klochenko P. D., Shevchenko T. F., Kharchenko G. V. Structural and functional organization of phytoplankton in the thickets and in the section free of vegetation in the lakes of Kiev // *Ibid.* — 2015. — Vol. 51, N 3. — P. 45—60.
22. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Tarashchuk O.S. Phytoepiphyton of the additional net of the Kanev Reservoir // *Ibid. J.* — 2016. — Vol. 52, N 3. — P. 22—37.
23. Klochenko P. D., Shevchenko T. F. Phytoepiphyton of macrophytes of various ecological groups of the Kiev Reservoir // *Ibid.* — 2016. — Vol. 52, N 6. — P. 3—16.
24. Klochenko P. D., Shevchenko T. F., Tarashchuk O.S. Phytoepiphyton of the main riverbed of the river section of the Kanev Reservoir // *Ibid.* — 2017. — Vol. 53, N 6. — P. 26—36.
25. Klochenko P., Shevchenko T. Distribution of epiphytic algae on macrophytes of various ecological groups (the case study of water bodies in the Dnieper River basin) // *Oceanol. Hydrobiol. St.* — 2017. — Vol. 46, Iss. 3. — P. 283—293.
26. Klochenko P. D., Shevchenko T. F., Lilit'skaya G.G. Bioindication of the ecological state of water bodies of the Goloseyevo National Natural Park // *Hydrobiol. J.* — 2018. — Vol. 54, N 5. — P. 17—27.

27. *Lilitskaya G.G., Klochenko P.D., Shevchenko T.F.* First record of *Chrysococcus rufescens* Klebs f. *tripora* J.W.G. Lund (Chrysophyta) in Ukraine // *Hydrobiol. J.* — 2017. — Vol. 53, N 3. — P. 44—51.
28. *Margaleff R.* Correlations entre certains caracteres synthetiques des populations de phytoplankton // *Hydrobiologia.* — 1961. — Vol. 18, N 1—2. — P. 155—164.
29. *Margaleff R.* Correspondence between the classic types of lakes and the structural and dynamic properties of their populations. — *Verh. Int. Verein. Limnol.* — 1964. — Vol. 15, pt. 1. — P. 169—175.
30. *Parsons T.R., Strickland J.D.H.* Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotinoides // *Journal Marine Research.* — 1963. — Vol. 21, N 3. — P. 155—163.
31. *Romanenko V.D., Liashenko A.V., Afanasyev S.A., Zorina-Sakharova Ye.Ye.* Biological indication of ecological status of the water bodies within Kiev city boundaries // *Hydrobiol. J.* — 2010. — Vol. 46, N 4. — P. 3—24.
32. *Romanenko V.D., Krot Yu.G., Lekontseva T.I., Podrugina A.B.* Peculiarities of phyto- and zooplankton structural organization at an extremely high content of inorganic compounds of nitrogen in water // *Ibid.* — 2017. — Vol. 53, N 5. — P. 3—14.
33. *Shcherbak V.I., Kravtsova O.V., Linchuk M.I.* Assessment of the influence of high concentrations of nitrogen compounds on phytoplankton diversity in the ponds of the Oleksandrya Natural Park (the town of Bila Tserkva, Ukraine) // *Ibid.* — 2018. — Vol. 54, N 1. — P. 19—32.
34. *Shevchenko T. F.* Species composition of periphyton algae of the reservoirs of the Dnieper cascade // *Ibid.* — 2007. — Vol. 43, N 5. — P. 3—42.
35. *Shevchenko T.F.* Distribution of periphyton algae of the Dnieper reservoirs depending on the type of substratum // *Ibid.* — 2011. — Vol. 47, N 3. — P. 3—13.
36. *Shevchenko T.F., Kharchenko G.V., Klochenko P.D.* Cenological analysis of phytoepiphyton of water bodies of Kiev // *Ibid.* — 2010. — Vol. 46, N 1. — P. 41—55.
37. *Shevchenko T. F., Klochenko P.D., Bilous O.P.* Response of epiphytic algae to heavy pollution of water bodies // *Water Environment Research.* — 2018. — Vol. 90, N 8. — P. 706—718.
38. *Takaichi S.* Carotenoids in algae: distributions, biosyntheses and functions // *Mar. Drugs.* — 2011. — Vol. 9. — P. 1101—1118.