

УДК [574.5(08):581.526.325]:621.311.25

А. А. Протасов¹, С. Баринава², Т. Н. Новоселова¹

**ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ АЭС НА
ОСНОВЕ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ФИТОПЛАНКТОНА**

Представлены результаты исследований фитопланктона водоема-охладителя Хмельницкой АЭС. Показана определенная неоднородность состава и показателей обилия, в частности, по направлению циркуляционного потока вод, создаваемого техногенной циркуляцией и ветровым воздействием. Дана характеристика экологического состояния водоема-охладителя на основе биоиндикационных показателей водорослей планктона, в частности по приуроченности к типу их местообитания, по отношению к термическому, гидродинамическому и кислородному режимам, рН, органическому загрязнению, трофическому статусу, типу питания. Проведено сравнение результатов экологической характеристики водоема на основе биоиндикации по фитопланктону и по методике экологической оценки качества поверхностных вод.

Ключевые слова: биоиндикация, фитопланктон, водоросли-индикаторы, экологические факторы, водоем-охладитель, АЭС.

Водоемы-охладители (ВО) представляют собой один из основных элементов водных техноэкосистем тепловых и атомных электростанций [13]. С технической точки зрения ВО являются специальными водными инженерными объектами, основная функция которых — охлаждение вод за счет теплообмена с атмосферой. Но эти водоемы являются и частью техноэкосистем и представляют собой открытые системы, где существуют разнообразные гидробиоценозы. С точки зрения особенностей условий обитания гидробионтов, это водные объекты с высоким внутренним водообменом и существенным температурным градиентом [4]. Кроме того, они, как правило, испытывают целый комплекс техногенных воздействий, которые влияют на гидрохимический, гидрофизический и гидробиологический режимы.

Влияние АЭС на пелагические сообщества выражается в поступлении дополнительного тепла, изменении гидродинамического режима, стабильности уровня воды, дополнительном поступлении биогенных, органических и неорганических веществ с водами подпитки и различными техногенными стоками. Влияние биотической составляющей ВО на работу технических систем энергогенерирующих станции выражается в виде различных биологических помех [19].

© А. А. Протасов, С. Баринава, Т. Н. Новоселова, 2017

Многолетние исследования показали, что видовой состав фитопланктона водоемов-охладителей достаточно богат, в отдельных отмечено до нескольких сотен видов планктонных водорослей [3, 5, 9, 12, 15, 18]. В качестве особенностей фитопланктона ВО в этом аспекте можно отметить более низкое таксономическое разнообразие, что связано со значительной представленностью видов одного отдела [18].

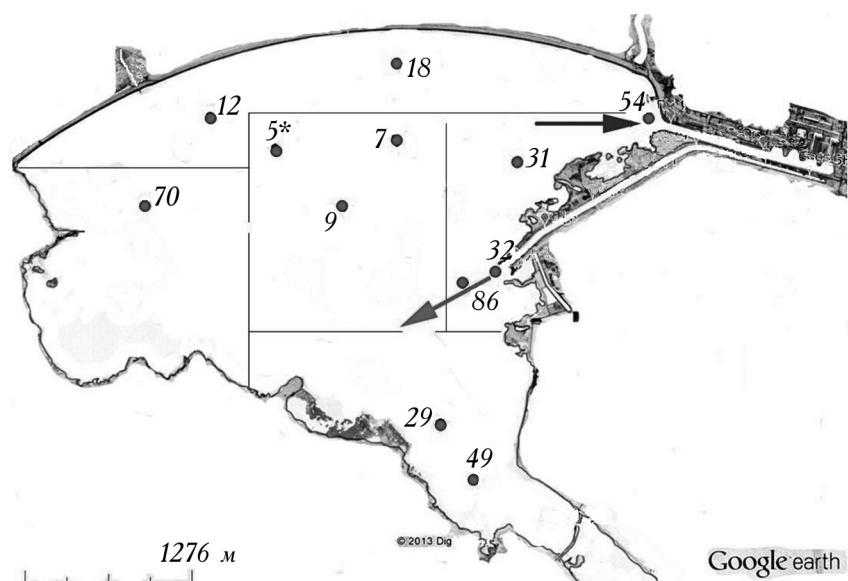
В настоящее время на всех объектах тепловой и атомной энергетики в Украине принята система экологического мониторинга, которая базируется преимущественно на анализе гидрохимических показателей. Для экологических оценок качества среды водоемов разного типа используются также и гидробиологические показатели, в частности, биомасса фитопланктона, индекс самоочищения-самозагрязнения (A/R) и индекс сапробности Пантле — Букк [7]. В биоиндикационных методах оценки качества водной среды используется широкий спектр показателей, определяются виды, индицирующие различные условия среды [1].

Целью настоящей работы было на основе ряда индикационных характеристик водорослей планктона дать описание экологического состояния ВО Хмельницкой АЭС, а также провести его сравнение с результатами комплексной экологической оценки.

Материал и методика исследований. ВО Хмельницкой АЭС (ХАЭС) представляет собой водохранилище площадью около 20 км² и объемом 120 млн. м³, подробные характеристики представлены в [13]. Акваторию ВО условно разделили на северный, восточный, западный, центральный и южный районы.

Изучение фитопланктона ВО проводится в течение ряда лет [13, 20]. Материал для данного исследования был собран в сентябре 2014 г., в это время работал один энергоблок АЭС, температура на выходе из отводящего канала составляла 26,2°C, на расстоянии 400 м — 23,7°C. Самая низкая температура (22,2°C) отмечена на входе в подводящий канал. На остальной акватории температура не превышала 23°C. Минимальные значения прозрачности (1,4 м по диску Секки) были зарегистрированы в южном районе водоема, максимальные (2,5—2,6 м) — в северной части центрального и северном районе. Условия в 2014 г. существенно не отличались от условий в 2013 и 2015 гг., однако в августе 2013 г. при работе двух энергоблоков средняя температура по водоему достигала 28,6°C, а при работе одного энергоблока в сентябре 2015 г. — 21,3°C, то есть была ниже, чем в 2014 г. Средняя прозрачность воды в указанные периоды исследований изменялась от 1,95 до 2,15 м. Таким образом, условия 2014 г. в ВО могут считаться средними, поэтому они выбраны для апробации биоиндикационного подхода для водных техноэкосистем энергетических станций.

Пробы фитопланктона отбирали из поверхностного горизонта по всей акватории ВО (рис. 1). Сбор, консервацию и обработку материала осуществляли по общепринятым в гидробиологии методикам [6]. Названия и систематическая принадлежность таксонов приведены согласно [16].



1. Схема водоема-охладителя ХАЭС. Обозначены районы ВО и станции отбора проб. Стрелками показано направление движения воды из отводящего канала (ст. 32) и вход в подводящий канал (ст. 54).

Для характеристики фитопланктона ВО использовали приуроченность водорослей к типу местообитания (*Hab*), отношение к температуре воды (*T*), отношение к подвижности водных масс и обогащения их кислородом (реофильность, *Reo*), рН, минерализации (галобность, *Hal*), уровню органического загрязнения по Ватанабе (*D*) [22]. Кроме того, использовали показатели трофического статуса водоема (*Tro*) и типа питания (*Aut-Het*) [21]. Для определения сапробности (*Sap*) использован индекс Пантле — Букк в модификации Сладечека [1]. Для статистического анализа распределения групп индикаторных видов по станциям была использована программа GRAPHS [8].

Результаты исследований

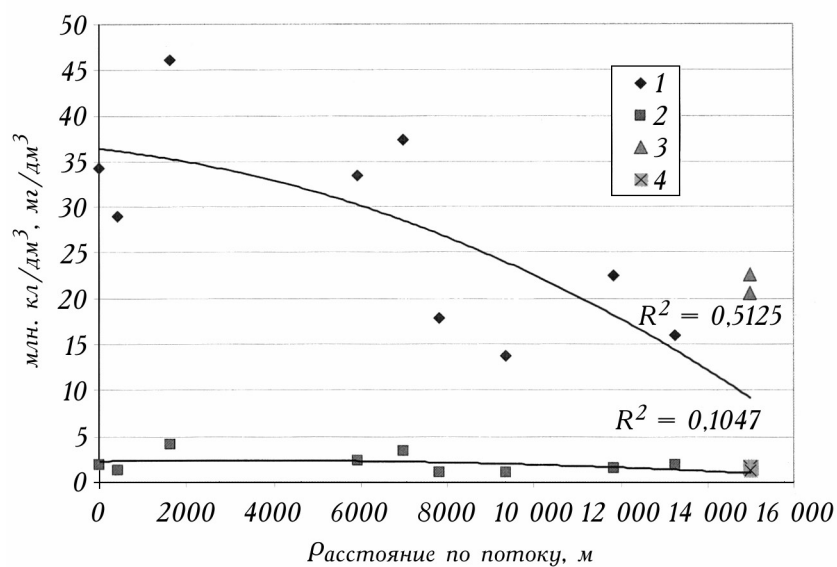
В период исследований в поверхностном горизонте пелагической части ВО было обнаружено 47 видов и внутривидовых таксонов водорослей из семи отделов (семь филумов согласно [16]). Основная часть водорослей была определена до вида (40), пять — до рода, два таксона — до варьета. Поскольку не все водоросли были определены до вида, далее используется термин «низший определенный таксон», или НОТ. Наиболее представленными были диатомовые (определено до рода 1, до вида — 18, варьета — 1, суммарно 20 НОТ) и зеленые (17 НОТ, из которых 16 видов, один — варьет). Cyanobacteria были представлены четырьмя видами, Dinophyta (Miozoa) — два НОТ (оба определены до рода), Cryptophyta — два НОТ (определены до рода — 1, до вида — 1), Euglenophyta — один вид и Streptophyta (Charophyta) — один НОТ (определен до рода).

1. Структурные характеристики фитопланктона на отдельных станциях ВО ХАЭС

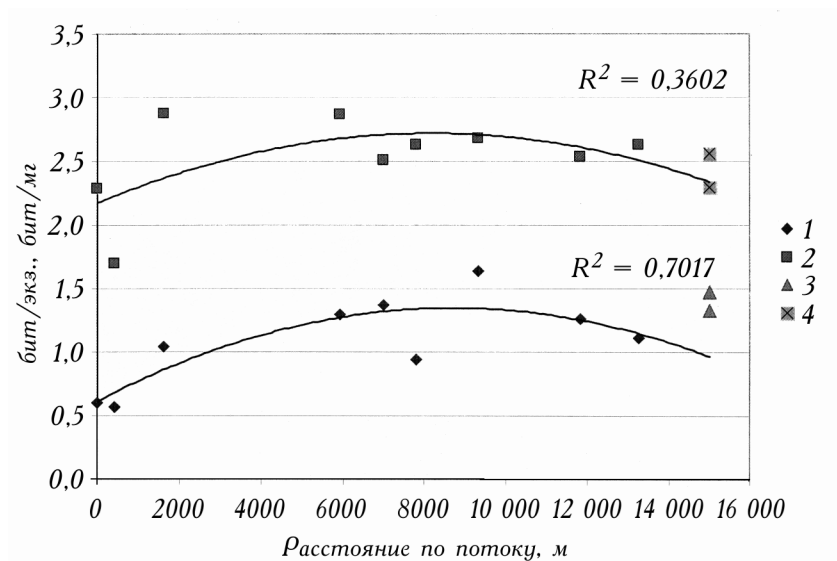
Показатели	Ст. 18	Ст. 12	Ст. 70	Ст. 5	Ст. 9	Ст. 7	Ст. 86	Ст. 32	Ст. 31	Ст. 54	Ст. 49	Ст. 29
Количество НОТ	16	15	16	16	11	10	12	12	11	11	24	19
Общая численность, млн. кл/дм ³	13,70	37,40	33,46	17,88	22,60	20,59	28,98	34,31	15,99	22,43	42,81	46,12
Общая биомасса, мг/дм ³	1,0	3,5	2,3	1,1	1,7	1,3	1,2	1,9	1,9	1,5	3,4	4,1
Индекс разнообразия по численности H_N , бит/экз	1,642	1,379	1,299	0,947	1,334	1,475	0,566	0,604	1,117	1,267	1,376	1,049
Индекс разнообразия по биомассе H_B , бит/мг	2,676	2,51	2,862	2,621	2,561	2,296	1,695	2,284	2,624	2,531	3,034	2,874
Индекс сапробности S	1,745	1,769	1,752	1,758	1,750	1,755	1,753	1,751	1,754	1,750	1,757	1,759

Количественные показатели фитопланктона в водоеме были в пределах от 13,70 до 46,12 млн. кл/дм³ и от 1,02 до 4,11 мг/дм³. Распределение значений численности, биомассы и таксономического богатства фитопланктона по акватории было неоднородным (табл. 1). По количеству видов и показателям биомассы выделялся южный район (ст. 29, 49), где их значения были наибольшими. Наименьшая численность была в северном (ст. 18) и восточном (ст. 31) районах. Наибольшая биомасса была отмечена в районе сброса подогретых вод (ст. 32), а также на западном и северо-западном участках ВО (ст. 70, 12). Индекс сапробности максимальным был в южном и восточном районах, однако его численные значения на станциях различались незначительно. Следует отметить, что выравнивание по численности было гораздо ниже, чем по биомассе, то есть степень доминирования по численности была выше, чем по биомассе.

Распределение фитопланктона связано с особенностями гидродинамической картины в водоеме, которая определяется как техногенной циркуляцией, так и ветровым воздействием [13, 14]. В период исследования преобладал ветер восточного направления, при котором в ВО формируется большая антициклональная циркуляция, охватывающая практически все периферийные участки. Распределение показателей обилия по ходу циркуляционного потока имело определенные закономерности — отмечено значительное снижение численности, связанное с уменьшением обилия цианобактерий, в то же время биомасса существен-

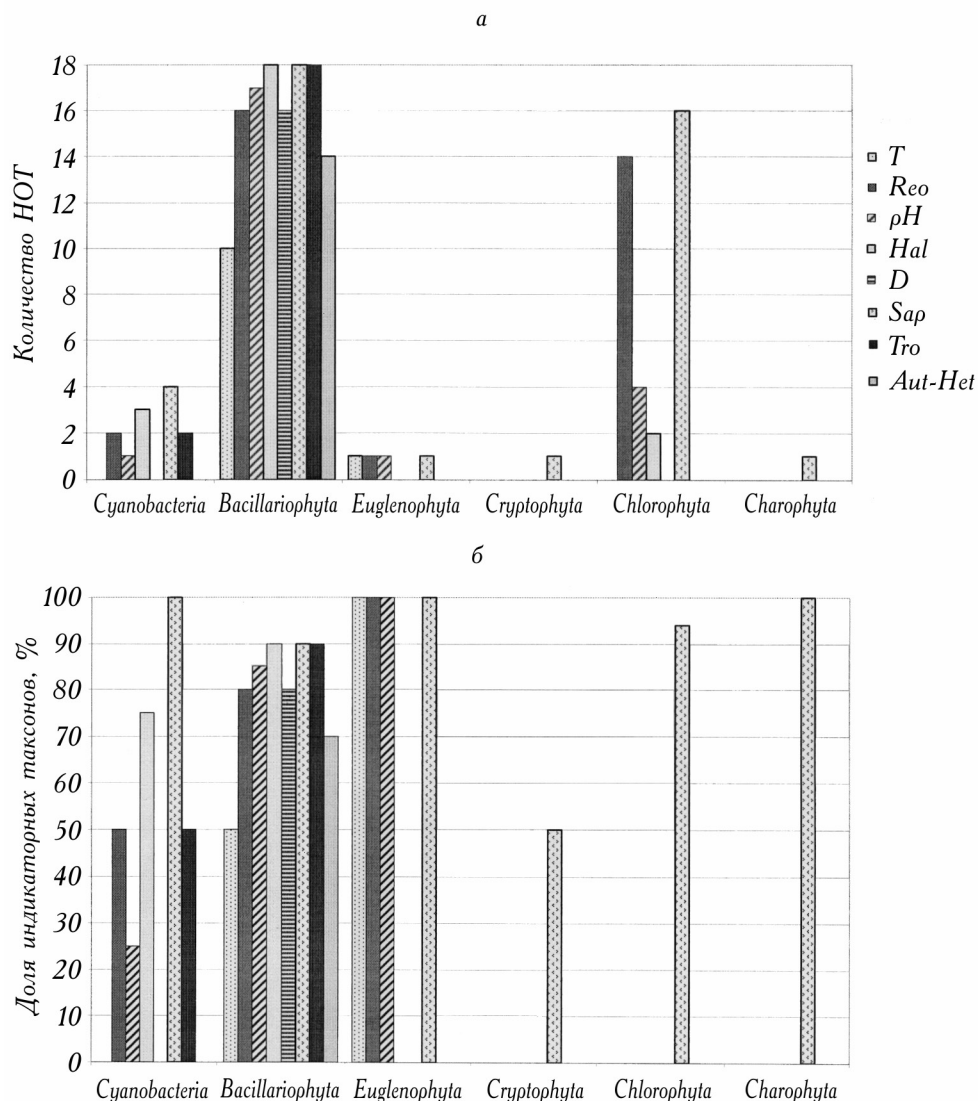


2. Распределение численности (1) и биомассы (2) водорослей по ходу антициклонального циркуляционного потока в направлении от ст. 32 (выход из отводящего канала) к ст. 54 (вход в подводящий канал); 3 — численность; 4 — биомасса фитопланктона на станциях в центре круговорота.



3. Изменение показателей видового разнообразия, рассчитанного по численности (1) и биомассе (2) водорослей по ходу циркуляционного потока; по численности (3) и биомассе (4) на станциях в центре круговорота в ВО ХАЭС.

но не изменялась, поскольку доля этих водорослей в общей была невелика (рис. 2).



4. Количество индикаторных таксонов (а) и их доля (б) в каждом из отделов водорослей (%).

Структура группировок на отдельных станциях по направлению потока довольно закономерно изменялась, их разнообразие (сложность) постепенно возрастало по мере удаления от сброса подогретых вод (рис. 3).

Из всего состава водорослей, зарегистрированных в период исследований, только три НОТ не имели хотя бы одной индикаторной характеристики. Распределение таксонов водорослей — индикаторов по показателям условий среды на станциях наблюдения ВО ХАЭС представлено в таблице 2. Наибольшее количество индикаторов практически по всем показателям было в составе отделов диатомовых и зеленых водорослей (рис. 4).

2. Количество НОТ фитопланктона в индикаторных группах на станциях наблюдения в ВО ХАЭС в 2014 г. (жирным шрифтом выделены наибольшие значения)

Индикаторные группы водорослей по отношению к:	Ст. 18	Ст. 12	Ст. 70	Ст. 5	Ст. 9	Ст. 7	Ст. 86	Ст. 32	Ст. 31	Ст. 54	Ст. 49	Ст. 29	Средние значения
Типу местообитания (Hab)													
<i>aer</i> — аэрофитные	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0,50
<i>Ep</i> — эпифитные	3	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0,92
<i>B</i> — бентосные	0	0	1	1	1	0	0	2	2	1	2	2	1,00
<i>P-B</i> — планктонно-бентосные	10	6	4	8	3	3	4	3	3	3	11	7	5,42
<i>P</i> — планктонные	2	4	5	2	2	3	3	1	3	2	4	4	2,92
температуре (T)													
<i>temp</i> — обитатели умеренно теплых вод	3	2	2	2	1	1	2	2	0	2	4	2	1,92
<i>etert</i> — эвритермные	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0,42
<i>warm</i> — теплолюбивые	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,17
гидродинамике и содержанию кислорода (Reo)													
<i>aer</i> — аэрофилы	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,08
<i>str</i> — обитатели текущих вод, обогащенных кислородом	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,08
<i>st-str</i> — обитатели вод с замедленным течением, умеренно насыщенных кислородом	9	6	6	9	4	2	4	3	3	3	9	8	5,50

Продолжение табл. 2

Индикаторные группы водорослей по отношению к:	Ст. 18	Ст. 12	Ст. 70	Ст. 5	Ст. 9	Ст. 7	Ст. 86	Ст. 32	Ст. 31	Ст. 54	Ст. 49	Ст. 29	Средние значения
<i>st</i> — обитатели стоячих вод, с пониженным содержанием кислорода	1	1	1	0	0	2	1	1	2	1	2	2	1,17
реакции среды (pH)													
<i>alf</i> — алкалофилы	2	1	1	0	0	1	1	3	2	1	6	2	1,67
<i>ind</i> — pH-индифференты минерализации (NaI)	4	3	3	5	2	0	3	0	2	2	7	6	3,08
<i>hl</i> — галофилы	3	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1,42
<i>i</i> — индифференты органическому загрязнению по Ватанабе (<i>D</i>)	8	8	5	6	3	3	6	3	6	5	14	9	6,33
<i>sx</i> — сапроксены	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	0	0,50
<i>es</i> — эврисапробы	1	2	2	2	1	1	2	0	2	2	7	4	2,17
<i>sp</i> — сапрофилы сапробности (<i>Sap</i>)	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,25
α -мезосапробионты	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0,42
α — β -мезосапробионты	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1,58
β -мезосапробионты	4	4	4	5	4	3	3	3	3	3	10	7	4,42
β — α -мезосапробионты	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0,33
β — α -сапробионты	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1,25

Продолжение табл. 2

Индикаторные группы водорослей по отношению к:	Ст. 18	Ст. 12	Ст. 70	Ст. 5	Ст. 9	Ст. 7	Ст. 86	Ст. 32	Ст. 31	Ст. 54	Ст. 49	Ст. 29	Средние значения
о-сапробионты	2	1	2	1	0	1	1	2	0	0	3	2	1,25
о-α-мезосапробионты	2	3	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1,83
о-β-мезосапробионты	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0,50
трофическому статусу (<i>Tro</i>)													
<i>ot</i> — олиготрофы	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0,50
<i>o—m</i> — олиго-мезотрофы	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	3	2	1,00
<i>m</i> — мезотрофы	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,17
<i>me</i> — мезо-эвтрофы	2	2	2	3	2	1	2	3	3	2	5	2	2,42
<i>e</i> — эвтрофы	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1,25
<i>o—e</i> — от олиго- до эвтрофов	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,08
<i>he</i> — гипертрофы	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08
типу питания (<i>Aut-Het</i>)													
<i>ats</i> — автотрофы, обитающие в среде с низкой концентрацией органического азота	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0,33
<i>ate</i> — автотрофы, толерантные к среде с повышенной концентрацией органического азота	1	1	1	1	1	0	1	2	3	2	4	2	1,58
<i>hle</i> — факультативные гетеротрофы	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0,75

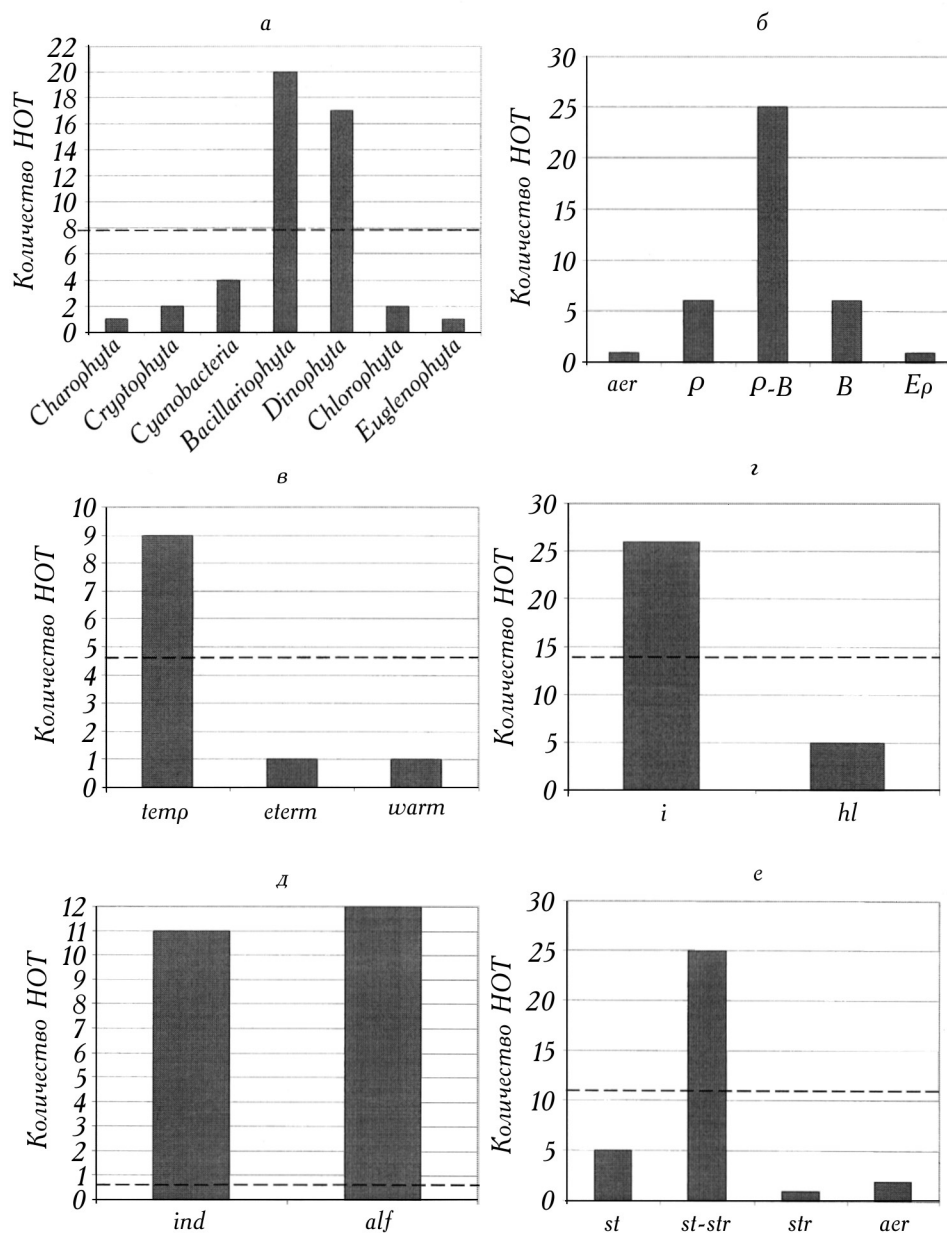
Количество индикаторных таксонов на станциях несколько различалось. На ст. 49 (южный район) при наибольшем количестве НОТ было и наибольшее количество индикаторов почти по всем показателям. Второе место занимала ст. 29, также из южного района. Следует отметить, что наибольшие значения среднего количества индикаторных таксонов определяют и высокую степень надежности индикации (см. табл. 2).

В отношении приуроченности к типу местообитания преобладали планктонно-бентосные формы (средний показатель — 5,42 НОТ/станцию, в то время как для планктонных — 2,92), по температуре преобладали виды с приуроченностью к умеренно теплым водам (1,92 НОТ/станцию). Чаще всего это были *Stephanodiscus hantzschii* Grunow и *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, отмечен также и теплолюбивый вид *Planothidium lanceolatum* (Brebisson ex Kuetzing) Lange-Bertalot. По отношению к минерализации преобладали индифферентные виды (6,33 НОТ/станцию), среди которых на всех станциях была отмечена *Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek, часто встречались *A. granulata* и *Pediastrum duplex* Meyen. По pH преобладали виды слабощелочных вод или индифферентные к этому показателю (3,08 НОТ/станцию). Наибольшую встречаемость имели *A. granulata*, *P. duplex*, *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg и *Mucidosphaerium pulchellum* (H.C. Wood) C. Bock, Proschold & Krienitz. Относительно гидродинамических условий и содержания кислорода преобладали индикаторы слаботекучих вод (5,50 НОТ/станцию), среди которых наиболее распространенными были *A. granulata*, *P. duplex* и *Monactinus simplex* (Meyen) Corda, а также обитатели стоячих вод с пониженным содержанием кислорода (1,17 НОТ/станцию) такие, как *St. hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Fragilariforma virescens* (Ralfs) D.M. Williams & Round, *Halamphora perpusilla* (Grunow) Q.-M. You & J.P. Kocielek, *Pandorina morum* (O.F. Müller) Bory.

Индикаторы органического загрязнения (по Ватанабе) показывали его средний уровень с большой долей видов-эврисапробов. Аналогичный результат показали индикаторы сапробности по Сладечку (см. табл. 2).

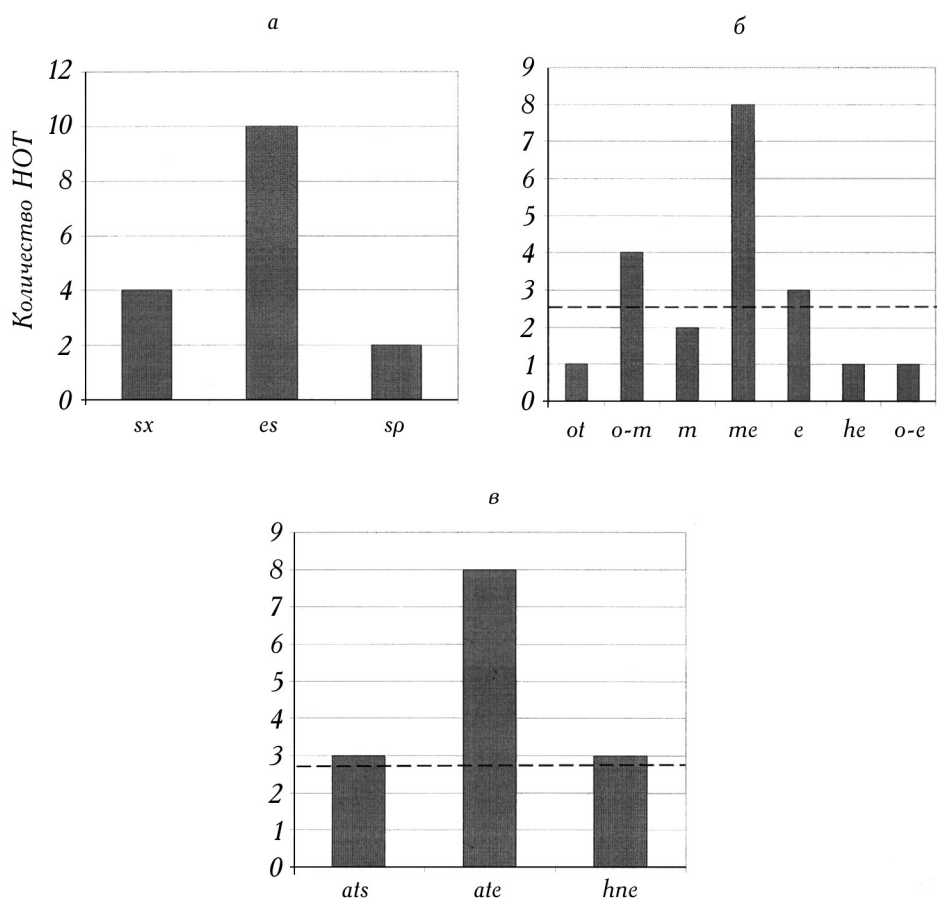
Что касается оценок количества индикаторных таксонов в общем списке для всего водоема, то в целом выраженное преобладание определенных индикаторных групп, как и на отдельных станциях, сохраняется (рис. 5, 6).

По сходству состава индикаторных таксонов фитопланктона сгруппировалось три комплекса с центральными ядрами в дендрите на ст. 5, 12 и 32 (рис. 7, а). Таким образом, состав фитопланктона ВО не образовывал континуума, а распадался на несколько групп. По отношению к температуре также дифференцировались две группы с центрами группировок ст. 32 (наибольшая температура) и ст. 70 (одна из наиболее удаленных от сброса подогретых вод и глубоководных станций). В отношении подвижности вод и кислородного режима оказалось два ядра с центрами на ст. 5 и 32. Здесь, как видим, дифференциация групп достаточно условна. Группировки, выделенные по критерию органического загрязнения (по Ватанабе), интерпретировать однозначно сложно, однако следует обратить внимание на то, что в центрах этих групп находятся группировки ст. 49 (как уже отмечали, здесь наиболь-



5. Распределение индикаторных таксонов по отделам (а), основным типам местообитания (б), температуре (в), минерализации (г), pH (д), подвижности водных масс и насыщенности их кислородом (е) в ВО ХАЭС. Пунктирная линия — стандартное отклонение. Обозначения по оси X см. табл. 2.

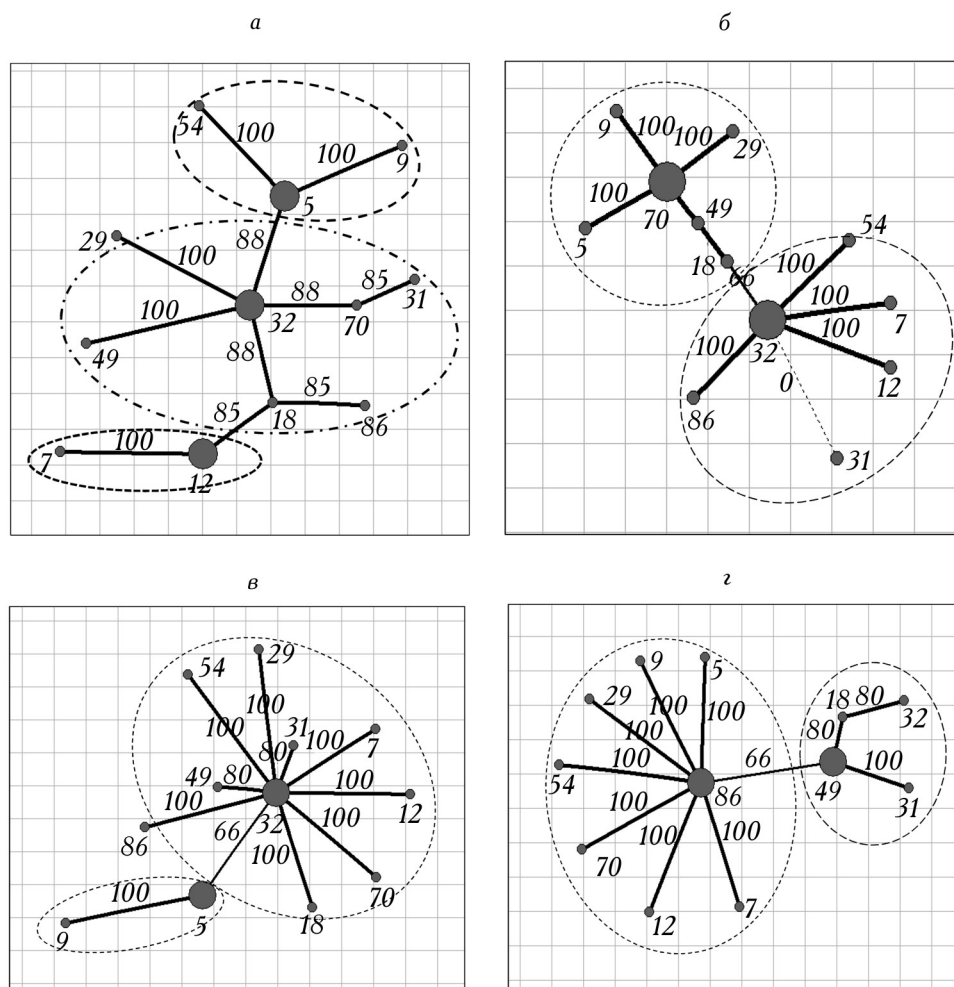
шее количество видов) и ст. 86 (станция, ближайшая к сбросу подогретых вод).



6. Распределение индикаторных таксонов органического загрязнения (а), по трофности (б) и типу питания (в) в ВО ХАЭС.

Граф группировок трофического статуса на отдельных участках ВО оказался сложно составленным, индикаторы сгруппировались вокруг четырех центров — на ст. 86, 49, 5 и 12 (рис. 8, а). По составу автотрофов и факультативных гетеротрофов фитопланктона выделено три группы с центрами на ст. 49, 32 и 9. В отношении рН по составу индикаторных таксонов выделены группировки с центрами на ст. 5, 32 и 86. Поскольку среди индикаторов этого показателя полностью преобладали индикаторы слабощелочных условий, а повышенные значения рН характерны для ВО [13], то можно предположить, что выделение двух малых групп в графе на фоне одной большой группы говорит о локальном присутствии алкалифилов (см. табл. 2), это еще один пример неоднородности фитопланктона в ВО. Относительно условий минерализации наблюдался полный континуум.

В отношении приуроченности к типу местообитания сообщества фитопланктона разделились на три группы с центрами графов на ст. 32, 12 и 49 (рис. 9).

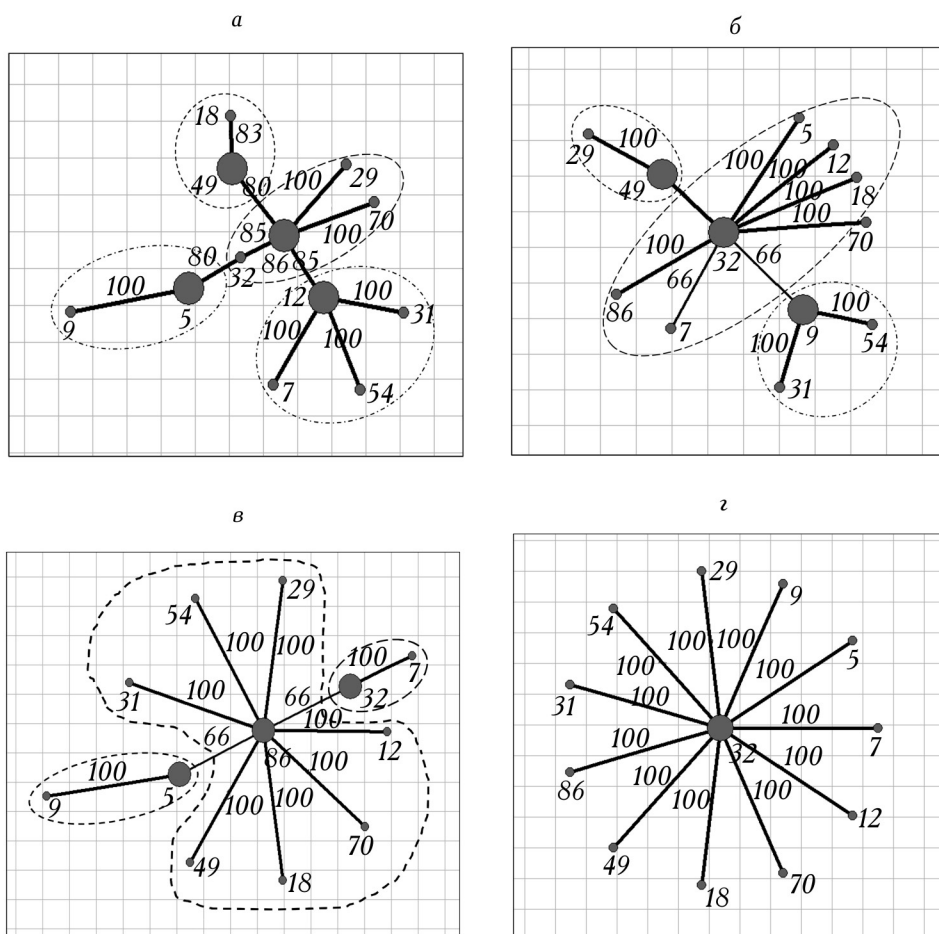


7. Дендриты сходства индикаторных таксонов (а), индикаторов температурного режима (б), подвижности водных масс (в) и органического загрязнения (по Ватанабе) (г) на станциях наблюдения ВО ХАЭС.

Обсуждение результатов

Как отмечал Г. Г. Винберг [2], только биологическим методам доступна оценка последствий загрязнения, которые могут быть определены по степени нарушений водной экосистемы. Химические и физические методы дают возможность установить наличие загрязнения, но не его последствия. За последние десятилетия методология и методы биологической оценки состояния водных экосистем получили существенное развитие [10, 17].

Дифференциация отдельных участков ВО (см. рис. 7—9) продемонстрировала, что при сравнительно небольшом объеме и небольшой амплитуде

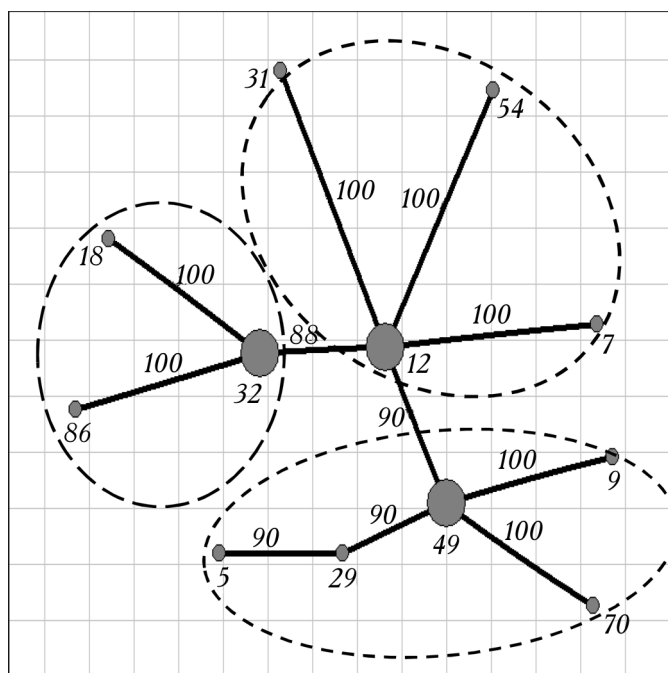


8. Дендриты сходства индикаторных таксонов трофического статуса (а), типа питания (б), рН (в) и минерализации (г) на станциях наблюдения ВО ХАЭС.

показателей среды, биоиндикация позволила выделить специфические станции в отношении девяти показателей. Так, по наиболее важному для ВО — температуре индикаторы не образовывали континуума, а распались на несколько группировок с наиболее характерными на ст. 70 (одна из наиболее удаленных от сброса подогретых вод) и ст. 32 (выход отводящего канала), что вполне отражает интенсивность воздействия температуры и водообмена. Важно отметить, что описанная выше ситуация гетерогенного распределения фитопланктона определяется и таким важным фактором, как техногенная циркуляция в сочетании с ветровым воздействием.

Индикация по рН, насыщенности вод кислородом, органическому загрязнению в двух системах (по Пантле — Букк и Ватанабе), типу питания и типу местообитания водорослей планктона, трофическому статусу вод показала наличие пяти различающихся центров индикаторных группировок. Ин-

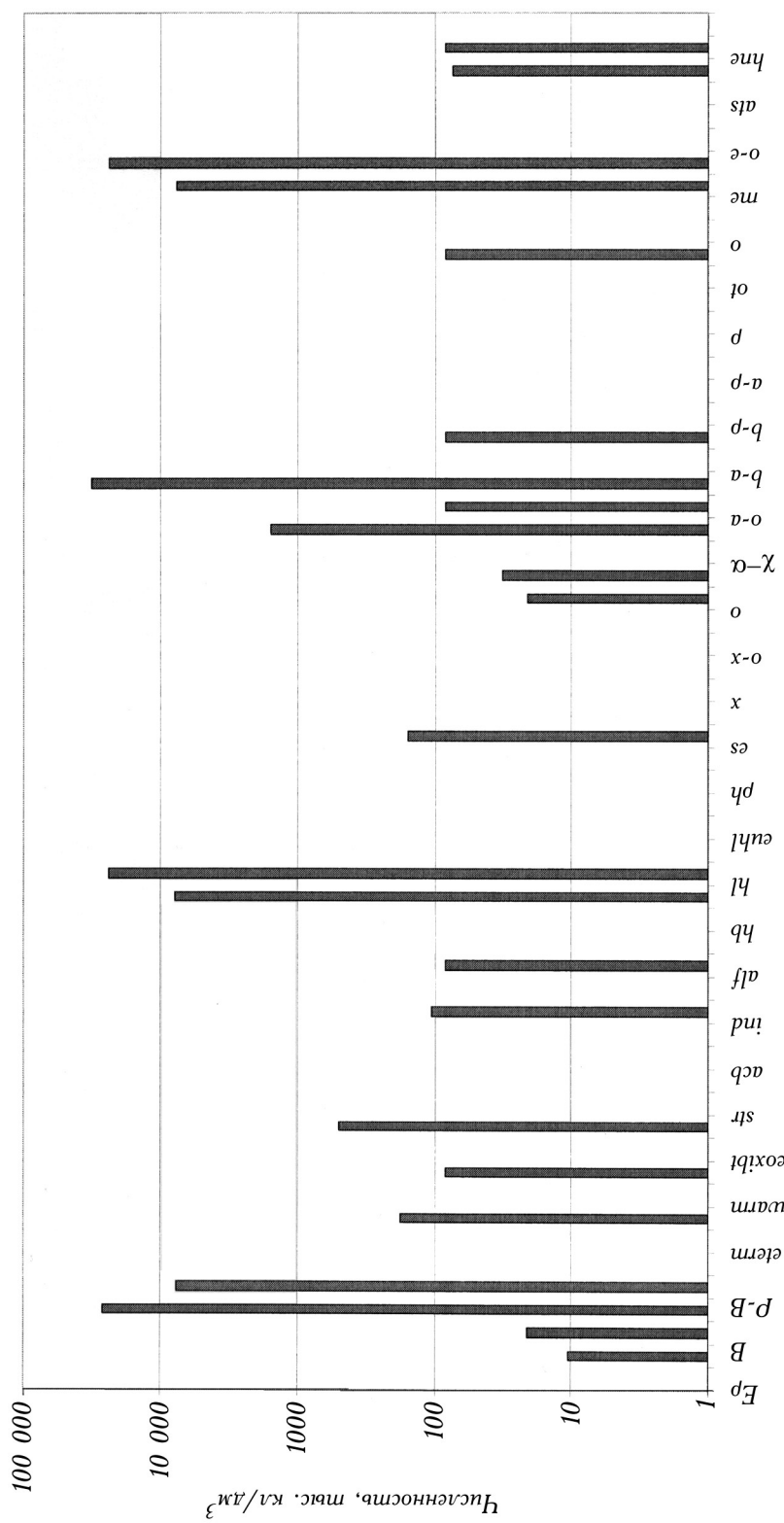
дикаторы трофического статуса вод и типа питания характеризовали залив в южном районе ВО (ст. 49) как своеобразный. Выделяются по составу индикаторов ст. 32 и 86 — вблизи сброса подогретых вод, ст. 5 и 9 — центральный район, ст. 12 — периферийный северо-западный район, ст. 70 — глубоководная и удаленная от сброса часть водоема, и ст. 54 — вход в подводящий канал. Индикаторы минерализации в настоящий момент не показали различий по станциям, однако в связи с повышенной температурой и более интенсивным испарением, чем в природных водоемах, в процессе эксплуатации ВО происходит определенное повышение минерализации, как это отмечено и для других водоемов-охладителей [4].



9. Дендрит сходства индикаторов приуроченности к типу местообитания на станциях ВО ХАЭС.

В основу выполненного анализа было положено количество индикаторных таксонов, как и в ряде других работ [17], однако, очевидно, что важна и количественная представленность водорослей тех или иных индикаторных групп. На наш взгляд, целесообразно представить присутствие индикаторных таксонов на отдельных станциях в виде биоиндикационных спектров (рис. 10), по которым можно сравнить как численность или биомассу тех или иных индикаторных таксонов на данной станции, так и сходство самих спектров на отдельных станциях или в других водоемах. Для количественной характеристики спектра может быть применен индекс разнообразия Шеннона, значения которого в данном случае будут зависеть как от богатства индикаторных групп, так и от степени их доминирования. Так, значения индекса Шеннона для трех спектров (ст. 70, 32 и 49) составляли соответственно 2,735, 2,266, 2,383 бит/индикаторная группа.

Проведенная ранее (2012 г.) оценка качества поверхностных вод по эколого-санитарным критериям на основе методики [7] показала, что значение среднего индекса изменялось от 3,1 до 3,4, воды относились к категории 3 («достаточно чистые», мезо-евтрофные), в то же время по показателям био-



10. Биондикационный спектр фитопланктона на ст. 70 ВО ХАЭС.

массы фитопланктона они соответствовали категориям 3—5 (от «достаточно чистых» до «умеренно загрязненных», мезо-евтрофных — ев-политрофных). В 2014 г. значение среднего индекса было в тех же пределах, что и в 2012 г., при этом по показателю биомассы фитопланктона качество воды отвечало категориям от 3 до 4 («достаточно чистые», мезо-евтрофные — «слабо загрязненные», евтрофные).

Заключение

Анализ фитопланктона водоема-охладителя ХАЭС по составу и количеству индикаторных таксонов показал, что на основании биоиндикации по различным показателям можно дать интегральную характеристику исследованного водоема как достаточно гидродинамически активного, с умеренным температурным режимом, мало минерализованного, со слабощелочной реакцией, с водными массами, насыщенными кислородом на среднем уровне. Условия в нем характеризовались как мезотрофные, уровень загрязнения органическими веществами — средний.

Группы индикаторов выделяются довольно четко с определенным преобладанием на станциях одной из них, что свидетельствует об эффективности самой методики. Применение методологии биоиндикации достаточно эффективно для определения состояния не только природных, но и техногенных водоемов. Так, для ВО весьма актуально повышение минерализации. По данным эколого-химической лаборатории ХАЭС в ВО отмечена тенденция к повышению этого показателя, однако примененный нами метод биоиндикации продемонстрировал, что в водоеме пока преобладают индифферентные по отношению к минерализации виды. Средняя температура воды в ВО более чем на 3°C выше, чем в близлежащих естественных водоемах и водотоках. По нашим данным в фитопланктоне ВО преобладают виды с приуроченностью к умеренно теплым водам, хотя отмечен также и теплолюбивый. Очевидно, что ВО не является полностью лентическим водным объектом, состав фитопланктона показывает наличие гидродинамических процессов (преобладали индикаторы слаботекучих вод). В целом биоиндикационный подход позволяет не только сделать описание локальных группировок и фитопланктона в целом, но и дает возможность сделать оценку условий в водоеме.

Сравнение результатов нашего исследования с ранее проведенными оценками, базирующимися на комплексной «Методике экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям» [7, 13, 11], показывает, что между ними в целом нет противоречий. Так, в фитопланктоне из индикаторов органического загрязнения по Ватанабе преобладали эврисапробы, по показателям сапробности — бета-мезосапробионты, то есть преобладали индикаторы среднего уровня трофности и органического загрязнения.

Гидрофизические, гидрохимические и биоиндикационные критерии должны дополнять друг друга. Задачей будущих исследований может быть установление закономерностей многолетней динамики состояния изученного водоема на основе биоиндикации и прогнозирование направления его изменений. Важным представляется вопрос об адекватном наглядном представлении результатов биоин-

дикационных оценок, например, с применением предложенного биоиндикационного спектра.

**

Представлені результати досліджень фітопланктону водойми-охолоджувача Хмельницької АЕС. Показана певна гетерогенність складу і показників рясності, зокрема, в напрямку циркуляційного потоку вод, що створюється техногенною циркуляцією і вітровою дією. Подана характеристика екологічного стану водойми-охолоджувача на основі біоіндикаційних показників водоростей планктону, зокрема по їх відношенню до типу місця мешкання, термічного і гідродинамічного режиму, вмісту кисню, рН, органічного забруднення, сапробності, трофічного статусу, типу живлення. Показано, що екологічний стан водойми може бути охарактеризований як задовільний. Проведено порівняння результатів визначення екологічного стану на основі біоіндикації по фітопланктону і по методиці екологічної оцінки якості поверхневих вод, яке показало збіжність результатів.

**

The results of phytoplankton research of the Khmelnytsky NPP cooling pond were presented. Certain heterogeneity of composition and abundance, in particular along the circulating current of water, created by technogenic circulation and wind exposure, was presented. The characteristic of the environmental status of cooling pond based on the indicators of bioindicative of plankton algae in particular: with regard to their type of habitat, thermal and hydrodynamic regime, oxygen content, pH, organic pollution, saprobity, trophic status, type of nutrition was given. It was shown that the ecological status of water body can be characterized as satisfactory. Comparison it was conducted the results of ecological status determination based on the bioindication by phytoplankton and according to the procedure of environmental assessment of surface water quality showed convergence of results.

**

1. Барінова С.С., Мегвегева Л.А., Анисимова О.В. Биоазнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. — Тель Авив: Pilies Studio, 2006. — 498 с.
2. Винберг Г.Г. Успехи лимнологии и гидробиологические методы контроля качества внутренних вод // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всес. конф., 1—3 нояб. 1978 г., Москва. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — С. 17—45.
3. Водоем-охладитель Ладыжинской ГРЭС / Отв. ред. О. Г. Кафтаникова. — Киев: Наук. думка, 1978. — 132 с.
4. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред М. Ф. Поливанная. — Киев: Наук. думка, 1991. — 192 с.
5. Кучурганский лиман-охладитель Молдавской ГРЭС / Отв. ред. М. Ф. Ярошенко. — Кишинев: Штиинца, 1973. — 206 с.
6. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. — К.: Логос, 2006. — 408 с.
7. 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.

8. *Новаковский А.Б.* Возможности и принципы работы программного модуля «GRAPHS» / Автоматизация научных исследований. — 2004. — Вып. 27. — 28 с.
9. *Пугайко М.А., Гринь В.Г.* Итоги изучения гидробиологического режима пресных водоемов-охладителей ТЭС Украины // Гидробиол. журн. — 1970. — Т. 6, № 2. — С. 36—44.
10. *Семенченко В.П., Разлуцкий В.И.* Экологическое качество поверхностных вод. — Минск: Бел. наука, 2010. — 329 с.
11. *Силаева А.А., Новоселова Т.Н., Протасов А.А.* Оценка качества среды водоема-охладителя АЭС в условиях влияния техногенных и биотических факторов. — Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2015. — № 3—4. — С. 599—602.
12. *Теплоэнергетика* и окружающая среда. Влияние термического режима водохранилища-охладителя Литовской ГРЭС на его гидробионты. — Вильнюс: Мокслас, 1981. — Т. 2. — 167 с.
13. *Техно-экосистема АЭС.* Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Протасова. — Киев, 2011. — 234 с.
14. *Тимченко В.М., Тимченко О.В., Гуляева О.А.* Эколого-гидродинамическая характеристика водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Ядерна енергетика та довкілля. — 2014. — № 1. — С. 39—43.
15. *Экосистема водоема-охладителя Лукомльской ГРЭС* / П. А. Митрахович, В. М. Самойленко, З. К. Карташевич и др. — Минск: Право и экономика, 2008. — 144 с.
16. *Algaebase.* режим доступа www.algaebase.org
17. *Barinova S.S., Klochenko P.D., Belous Ye.P.* Algae as indicators of the ecological state of water bodies: methods and prospects // Hydrobiol. J. — 2015. — Vol. 51, N 6. — P. 3—21.
18. *Novoselova T.N., Protasov A.A.* Phytoplankton of cooling ponds of techno-ecosystems of nuclear and thermal power stations (a review) // Ibid. — 2015. — Vol. 51, N 3. — P. 37—52.
19. *Protasov A.A., Panasenko G.A., Babariga S.P.* Biological hindrances in power stations exploitation, their typization and main hydrobiological of control // Ibid. — 2009. — Vol. 45, N 1. — P. 32—46.
20. *Sinitsyna O.O., Kalinichenko R.A., Sergeyeva O.A. et al.* Plankton, benthos and periphyton of the cooling pond of the Khmel'nitskaya nuclear power station // Ibid. — 2001. — Vol. 37, N 3. — P. 17—35.
21. *Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J.* A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands // Neth. J. Aquat. Ecol. — 1994. — Vol. 28. — P. 117—133.
22. *Watanabe T., Asai K., Houki A.* Numerical estimation to organic pollution of flowing water by using the epilithic diatom assemblage — diatom assemblage index (DAIpo) // Sci. Total Environ. — 1986. — Vol. 55. — P. 209—218.

¹Институт гидробиологии НАНУ, Киев

²Институт эволюции, Хайфа, Израиль

Поступила 10.10.16