

*Pentapharsodinium dalei* і *Gonyaulax* sp. Чотири види динофлагелят до теперішнього часу не були відзначені в планктоні Чорного моря: *Alexandrium* cf. *taylori*, *Scrippsiella precaria*, *Scrippsiella lacrymosa*, *Gymnodinium nolleri*. Цисти *S. trochoidea* були широко поширені в районі досліджень і домінували на більшості станцій.

*Ключові слова:* цисти динофлагелят, поширення, вселенці, Чорне море

SE. Nikonova

Institute of Marine of Biology of NAS of Ukraine, Odesa

#### SPATIAL DISTRIBUTION OF DINOFLAGELLATES CYSTS IN THE NORTHERN BLACK SEA

Fifteen different dinoflagellate cyst morphospecies were found in sediment samples collected in northern part of the Black Sea. Twelve cysts representing 8 genera were identified to the species level. The most common cysts were *Scrippsiella trochoidea*, *Gymnodinium nolleri*, *Pentapharsodinium dalei* and *Gonyaulax* sp. Four of the dinoflagellate species have not previously been recorded as motile cells in the Black Sea: *Alexandrium* cf. *taylori*, *Scrippsiella precaria*, *S. lacrymosa*, *Gymnodinium nolleri*. *S. trochoidea* cysts were widely distributed and dominated in many localities in the study area.

**Keywords:** dinoflagellate cysts, distribution, non-indigenous species, Black Sea

УДК 574.583:621.311.25(285.33)

Т.Н. НОВОСЕЛОВА, Ю.Ф. ГРОМОВА, А.А. ПРОТАСОВ

Институт гидробиологии НАН Украины  
пр. Героев Сталинграда, 12, Киев, 04210, Украина

#### ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ПЛАНКТОНА В ТЕХНО-ЭКОСИСТЕМЕ АЭС

---

Рассмотрены особенности пространственного распределения фито- и зоопланктона водной части техно-экосистемы Хмельницкой АЭС. Гетерогенность планктона была обусловлена неоднородностью термических и гидродинамических условий в периоды работы энергоблоков АЭС. Существенное влияние на динамику водных масс, а значит и на распределение планктона в водоеме-охладителе, оказывали ветровые течения. Более однородный планктон был отмечен в рамках круговоротов и потоков, которые формируются в водоеме-охладителе при разных ветровых ситуациях. Фитопланктон изолированных литоральных участков в качественном и количественном отношении существенно отличался от такового пелагиали. Зоопланктон в большей степени, чем фитопланктон реагировал на транспорт воды через каналы.

*Ключевые слова:* фитопланктон, зоопланктон, техно-экосистема АЭС, гетерогенность, водоем-охладитель, каналы.

Пространственное распределение планктона в водоемах техно-экосистем АЭС определяется многими причинами. Помимо природных факторов, конструкция и режим эксплуатации водоемов-охладителей и связанных с ними подводящих и отводящих каналов, обуславливают определенную гетерогенность условий обитания гидробионтов. Сброс подогретых вод и забор охлаждающей воды создает в этих водоемах своеобразный термический и гидродинамический режимы. Планктонные организмы в значительной степени подвержены воздействию техногенных факторов [3, 4].

#### Материал и методы исследований

Изучение фито- и зоопланктона техно-экосистемы Хмельницкой АЭС (ХАЭС) проводились в летне-осенний период в разные годы с 1998 по 2014 гг. Пробы планктона отбирали в водоеме-охладителе (ВО), подводящем (ПК) и отводящем (ОК) каналах. Сбор, консервацию и

обработку материала осуществляли по общепринятым в гидробиологии методикам [1]. При описании таксономического состава использовали термин НОТ – низший определяемый таксон (до видового ранга определено около 90% водорослей планктона, организмов зоопланктона – 70–80%). Для расчетов мер сходства применяли метод таксономического анализа Смирнова и коэффициент сходства Серенсена, оценку гетерогенности количественных показателей проводили с помощью коэффициента вариации CV (%) [2].

Водоем-охладитель ХАЭС представляет собой водохранилище площадью около 20 км<sup>2</sup> и объемом 120 млн. м<sup>3</sup>, подробные характеристики представлены в [4].

Целью исследования было выявление особенностей пространственного распределения и его гетерогенности для фито- и зоопланктона в водоеме-охладителе, подводящем и отводящем каналах ХАЭС.

### Результаты исследований и их обсуждение

Такие элементы техно-экосистемы ХАЭС как водоем-охладитель, подводящий и отводящий каналы характеризуются разными термическими и гидродинамическими условиями (таблица). В 2012 и 2014 гг. соотношение систематических групп и состав фитопланктона этих водных объектов были достаточно сходными (0,44-0,57 по Серенсену). В оба года в флористическом отношении преобладали зеленые и диатомовые водоросли. Средние количественные показатели в пределах одного года были сходными, однако в разной степени варьировали в рамках отдельных водных объектов (табл.).

Таблица

Средние показатели температуры, количественные показатели фито- и зоопланктона в ВО, ПК и ОК ХАЭС

Год исследования	2012			2014		
	ВО	ПК	ОК	ВО	ПК	ОК
Температура, °С	25,1±0,7	23,8±0,90	33,0	23,1±0,3	22,6±0,4	28,1±0,03
Численность фитопланктона, млн. кл/дм <sup>3</sup>	6,11±0,38	4,41±0,07	5,33±2,66	28,53±3,36	36,51±14,08	11,48±3,06
CV, % численности	16,42	2,33	99,87	39,01	54,55	53,25
Биомасса фитопланктона, мг/дм <sup>3</sup>	3,15±0,77	1,72±0,63	2,26±0,79	2,14±0,32	2,03±0,48	1,33±0,27
CV, % биомассы	64,64	52,18	70,00	49,71	33,62	39,96
Численность зоопланктона, тыс.экз/м <sup>3</sup>	1222,98±130,73	1633,44	1786,15*	313,38±51,75	135,96	77,73±19,82
CV, % численности	32,07			59,54		36,06
Биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	9,91±1,75	9,03	17,84 *	7,52±1,39	4,15	1,02±0,38
CV, % биомассы	53,12			66,64		52,47

Примечание: \* - выход из ОК.

Таксономическая структура и видовой состав зоопланктона в ВО, ПК И ОК были довольно сходными: 0,55-0,92 по Серенсену. В распределении обилия зоопланктона имела место пространственная гетерогенность – как правило, наиболее низкие показатели отмечались непосредственно в отводящем канале (см. табл.). Однако, нами были отмечены случаи, когда обилие зоопланктона при выходе из ОК превышало таковое в самом канале и прилегающих участках ВО (см. таб.).

Гетерогенность в распределении обилия зоопланктона по акватории водоема-охладителя была более выражена в периоды работы энергоблоков (2012-2014 гг.), когда формировалась пространственная неоднородность термических и гидродинамических условий в водоеме. Средние значения коэффициента вариации CV (%) для показателей численности и биомассы зоопланктона в эти периоды немного выше: 47,15 и 65,96 соответственно, чем в условиях отсутствия техногенной циркуляции. Так, в 1998, 1999, 2008 гг., когда энергоблоки не работали, значения CV составляли в среднем 26,97 по численности и 51,28 по биомассе зоопланктона.

На пространственное распределение планктона в водоемах-охладителях существенное влияние оказывает формирование гидродинамической картины при ветровом воздействии [4]. В период исследования распределения фитопланктона 29.08.2012 г. при северо-западном ветре, скоростью 2,8–3,0 м/с, в западной части водоема формировался циклональный круговорот, в восточной – поток, направленный от отводящего канала к подводящему. Северная, центральная и южная части водоема гидродинамически обособлены. Зона наиболее высоких температур не распространялась далее участка, прилегающего к отводящему каналу.

Таксономический состав фитопланктона по акватории был неоднороден. Состав водорослей южной части водоема, не включенной в циркуляционные и ветровые потоки, имел наибольшую оригинальность (по Смирнову  $t_{\text{сх}} = 236$ ). Здесь были отмечены 8 видов, отсутствующих в других участках ВО. Распределение численности и биомассы фитопланктона в пределах круговорота (CV численности – 12,02, биомассы – 16,09) и потока (13,32 и 13,66) было более однородным, чем в целом по водоему (48,34 и 124,35 соответственно).

В период исследования зоопланктона 23.04.2007 г., западный ветер, скоростью 1,7 м/с, направлял транзитный поток, который использовался АЭС, сразу от сброса к водозабору (восточный поток). На остальной акватории ВО формировалась автономная циркуляция, которая практически не принимала участия в процессе охлаждения воды (западный круговорот) [4]. В восточном потоке и западном круговороте группировка зоопланктона отличалась по уровню количественного развития:  $38,73 \pm 8,05$  тыс. экз/м<sup>3</sup>,  $0,69 \pm 0,32$  г/м<sup>3</sup> (поток) и  $113,54 \pm 11,64$  тыс. экз/м<sup>3</sup>,  $9,21 \pm 1,85$  г/м<sup>3</sup> (круговорот). О гетерогенности обилия зоопланктона свидетельствуют также значения коэффициента вариации, которые ниже в пределах потока (29,40 по численности и 65,71 по биомассе) и круговорота (17,75 и 34,70), чем по всему водоему (52,33 и 89,36).

Между литоралью и пелагиалью в водоемах существуют определенные различия условий. В литоральной части водоема, как правило, меньшая прозрачность воды, более резко выраженные колебания суточной температуры, своеобразные гидродинамические условия, что оказывает влияние на пространственное распределение планктона. По данным 2012 и 2013 гг. фитопланктон литорали водоема-охладителя характеризовался большим видовым богатством, чем таковой пелагиали. Видовой состав фитопланктона открытых мелководий и прилегающей к ним пелагической части ВО составлял 0,45–0,64 по Серенсену, в то время как коэффициенты флористической общности фитопланктона закрытых мелководий и пелагиали были невысокими (0,28–0,31 по Серенсену). В 2012 г. показатели обилия закрытых мелководий были существенно выше (численность – на 2 порядка, биомасса – на порядок) в основном, за счет интенсивного развития зеленых водорослей, а в 2013 г. – на том же уровне, что и в пелагической части водоема-охладителя.

Фактором, который может оказывать влияние на развитие планктона водоемов-охладителей, является транспорт воды через каналы. В 2012–2014 гг. при прохождении воды через систему циркуляционного охлаждения (ПК–АЭС–ОК–ВО) несколько уменьшалось количество НОТ фитопланктона и изменялась его таксономическая структура за счет возрастания доли диатомовых и убывания зеленых. Биомасса фитопланктона в целом не претерпевала существенных изменений. Однако, по длине каналов на фоне незначительных колебаний уровня зеленых и криптофитовых происходило увеличение биомассы диатомовых. Изменения численности происходили за счет синезеленых: наибольшие ее показатели были зарегистрированы в районе сброса подогретых вод.

Видовое богатство зоопланктона в ПК изменялось незначительно, в ОК в районе сброса воды с энергоблоков – снижалось, а при выходе из ОК снова увеличивалось. В 2014 г. обилие зоопланктона, проходящего через систему каналов, постепенно снижалось. В 2012, 2013 гг. численность и биомасса зоопланктона непосредственно в подводящем канале были выше по сравнению с входом в него. При прохождении воды через охлаждающую систему АЭС происходило снижение обилия зоопланктона. Однако, при выходе из ОК количественные показатели возрастали. Высокая концентрация организмов планктона в этой зоне, вероятно, обусловлена взаимодействием водных масс ОК и ВО с образованием разнонаправленной системы течений, в том числе циркуляционных.

**Выводы**

В системе ВО-ПК-ОК, несмотря на разницу температур и гидродинамических условий, формировался достаточно однородный по составу планктон; определенная гетерогенность имела место в распределении обилия зоопланктона. Диапазон изменения численности и биомассы зоопланктона по акватории ВО шире в периоды работы энергоблоков, что обусловлено неоднородностью термических условий в это время. Более однородный планктон в ВО формировался в пределах круговоротов и потоков, формирующихся при разных ветровых ситуациях. Гетерогенность фитопланктона пелагиальных и литоральных участков ВО была достаточно хорошо выражена и обусловлена степенью изолированности последних. Транспорт воды через каналы оказывал существенное влияние на динамику количественных характеристик зоопланктона, распределение таковых фитопланктона в каналах было более однородным.

1. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод* / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко [та ін.]; за ред. В. Д. Романенка. – К.: Логос, 2006. – 408 с.
2. *Песенко Ю. А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю. А. Песенко – М.: Наука, 1982. – 287 с.
3. *Протасов А. А.* Состав и пространственное распределение планктона в водоеме-охладителе атомной электростанции / А. А. Протасов, Т. Н. Новоселова, В. Н. Трохимец [и др.] // Биоразнообразие и устойчивое развитие: III Междунар. науч.-практ. конф. (15–19 сент. 2014 г.): материалы докл. – Симферополь, 2014. – С. 291–293.
4. *Техно-экосистема АЭС.* Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / А. А. Протасов, В. П. Семенченко, А. А. Силаева [и др.]; под ред. А.А. Протасова. – К.: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2011. – 234 с.

*Т.М. Новосолова, Ю.Ф. Громова, О.О. Протасов*

Інститут гідробіології НАН України, Київ

**ПРОСТОРОВА ГЕТЕРОГЕННІСТЬ ПЛАНКТОНУ У ТЕХНО-ЕКОСИСТЕМІ АЕС**

У роботі розглянуто особливості просторового розподілу фіто- та зоопланктону водної частини техно-екосистеми Хмельницької АЕС. Гетерогенність планктону була обумовлена неоднорідністю термічних і гідродинамічних умов в періоди роботи енергоблоків АЕС. Істотний вплив на динаміку водних мас, а отже і на розподіл планктону в водоймі-охолоджувачі, чинили вітрові течії. Більш однорідний планктон був відмічений в межах круговоротів і потоків, що формуються у водоймі-охолоджувачі при різних вітрових ситуаціях. Фітопланктон ізольованих літоральних ділянок в якісному і кількісному відношеннях істотно відрізнявся від такого пелагіалі. Зоопланктон більшою мірою, ніж фітопланктон, реагував на транспорт води через канали.

*Ключові слова:* фітопланктон, зоопланктон, техно-екосистема АЕС, гетерогенність, водоймі-охолоджувач, канали

*T. Novosolova, Y. Gromova, A. Protasov*

Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, Kyiv

**SPATIAL HETEROGENEITY OF PLANKTON OF THE NPP TECHNO-ECOSYSTEM**

The features of the spatial distribution of phytoplankton and zooplankton of aquatic part of the Khmelnytsky NPP techno-ecosystem were discussed. The heterogeneity of plankton was due to inhomogeneity of thermal and hydrodynamic conditions in periods of operation of NPP power blocks. The wind currents provided a significant impact on the dynamics of water masses, and therefore on the distribution of plankton in the cooling pond. More uniform plankton was within of cycles and flows formed in cooling pond at different wind conditions. Qualitative and quantitative characteristics of phytoplankton of isolated littoral areas were significantly different then one of the pelagic zones. Zooplankton more than phytoplankton reacted to transport water through the channels.

**Keywords:** phytoplankton, zooplankton, techno-ecosystem NPP, heterogeneity, cooling pond, channels

*Робота підтримана МОН України, проект МІ/97-2015.*