

УДК 574.65:[582.232+581.526.325]

Т. Н. Новоселова, А. А. Протасов

**НАХОДКИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ТРОПИЧЕСКОГО И
СУБТРОПИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В
ВОДОЕМАХ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ АЭС И ТЭС
УКРАИНЫ**

Представлены факты инвазии и массового развития планктонных цианобактерий тропического и субтропического происхождения (*Cylindrospermopsis raciborskii*, *Sphaerospermum aphanizomenoides*, *Cuspidothrix ussatschevii*) в водоемах техноэкосистем ТЭС и АЭС Украины. *C. raciborskii* в разное время был зарегистрирован в водоемах-охладителях Зуевской ГРЭС и Запорожской АЭС, рыбоводных прудах техноэкосистемы Хмельницкой АЭС, где вызывал «гиперцветение», и в небольшом количестве в литоральной части водоема-охладителя. Другие виды цианобактерий (*Sph. aphanizomenoides* и *C. ussatschevii*) были найдены в водоеме-охладителе Зуевской ГРЭС. Развитие первого не достигало значительного уровня, биомасса второго соответствовала интенсивному «цветению».

Ключевые слова: фитопланктон, водоем-охладитель, виды-вселенцы, цианобактерии, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Sphaerospermum aphanizomenoides*, *Cuspidothrix ussatschevii*.

Водная часть техноэкосистем энергогенерирующих станций (ТЭС и АЭС) представляет собой сложное сочетание водных объектов с лотическими и лентическими условиями, различным термическим режимом, разным характером водопользования и техногенного воздействия. Техноэкосистемы ТЭС и АЭС подвержены интенсивному инвазийному процессу, состав их гидробионтов постоянно пополняется новыми, в том числе и экзотическими видами [5, 12, 13], некоторые из них оказывают биопомехи в работе оборудования или могут представлять угрозу для здоровья человека.

Кроме водоемов-охладителей (ВО), техноэкосистемы включают системы каналов и вспомогательные водоемы — шламонакопители, биопруды очистных сооружений, брызгальные бассейны и др. [7]. К числу водных объектов, которые не входят в технологический цикл водопользования, но располагаются вблизи площадки ТЭС или АЭС, относятся, например, рыбоводные пруды. На Хмельницкой АЭС (ХАЭС) имеется участок биомелиорации гидроцефа с большим количеством прудов, получающих воду из отводящего канала. Вода из большей их части сбрасывается в водоем-охладитель, то есть гидравлически пруды связаны с техноэкосистемой станции. Водные объекты техноэкосистемы характеризуются разным количественным развитием

© Т. Н. Новоселова, А. А. Протасов, 2016

и сходством видового состава фитопланктона и, таким образом, могут служить друг для друга источниками новых видов.

Виды-вселенцы — представители цианобактерий, вызывающие «цветение» воды, несут значительную угрозу для экосистемы водоема-реципиента. Целью нашей работы было, опираясь на собственные данные и литературные источники, рассмотреть факты появления и массового развития некоторых цианобактерий тропического и субтропического происхождения в водных объектах техноэкосистем тепловых и атомных электростанций Украины.

В водной части техноэкосистем энергетических станций Украины неоднократно отмечены находки некоторых теплолюбивых видов цианобактерий субтропического и тропического происхождения. Так, в фитопланктоне водоема-охладителя Зуевской ГРЭС наряду с *C. raciborskii* в летний период 1965—1966 гг. в небольших количествах (0,5 млн. кл/дм³) был обнаружен редкий планктонный вид *Sphaerospermum aphanizomenoides* (Forti) Zapomelova et al. comb. nov. (Syn.: *Aphanizomenon aphanizomenoides* Kom. et Horecka, *Anabaena aphanizomenoides* Forti, *Aphanizomenon sphaericum* Kisselev) [2]. Вид впервые описан из озер Анатолии (Турция), позже был отмечен в некоторых странах Европы, Северной Африки, Азии и Южной Америки [14]. В каталоге водорослей Украины вид отсутствует [8].

В 1965—1966 гг. в водоеме-охладителе Зуевской ГРЭС с июля по октябрь регулярно развивался, достигая максимума, соответствующего уровню «цветения» воды, *Cuspidothrix ussatschevii* (Proškina-Lavrenko et Makarova) Rajaniemi et al, 2005 (Syn.: *Aphanizomenon ovalisporum* var. *caspiica* Usačev, *Aphanizomenon ussatschevii* Proškina-Lavrenko et Makarova) [2]. Наибольшая численность отмечена в период максимального прогрева воды (31—39°C): 7000 млн. кл/дм³, что составляло 95% общей. Вид известен из Каспийского моря [14]. Это единственный случай его нахождения в Украине [8].

Одним из активно распространяющихся и успешно натурализовавшихся во многих водоемах представителей цианобактерий является *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya et Subba Raju (Syn.: *Anabaena raciborskii* Wołoszynska, *Anabaenopsis raciborskii* (Wołosz.) Elenkin). Вид отличается высокой физиологической и экологической пластичностью, вызывает «цветение» воды и способен синтезировать нейротоксин сакситоксин и алкалоидный гепатотоксин цилиндроспермопсин. Вид устойчив к выеданию зоопланктоном [1]. Впервые найден в тропическом озере на о. Ява (Индонезия) [15]. Детально описана активная колонизация ним водоемов Евразии и Северной Америки [6]. В частности отмечено, что наиболее высокого развития он достигает в стратифицированных тропических озерах и в летние месяцы в полимиктических мелководных высокотрофных озерах умеренных широт.

На территории Украины *C. raciborskii* встречался в Днепре, дельте Дуная [8] и некоторых водоемах-охладителях тепловых и атомных электростанций [2, 5, 10]. Так, в фитопланктоне ВО Зуевской ГРЭС в июле 1966 г. его численность составляла 0,06 млн. кл/дм³, в начале августа 1969 г. — 0,05 млн. кл/дм³ [2]. В водоеме-охладителе Запорожской АЭС (ЗАЭС) в июле 1995 г. числен-

ность достигала 189,7 млн. кл/дм³, однако в ноябре того же года он выпал из состава фитопланктона [10]. При исследованиях фитопланктона ЗАЭС в октябре 2011 г. этот вид также отмечен не был [12].

В 2014 г. *C. raciborskii* был обнаружен в рыбоводном пруду (размером 80×40 м) участка биомелиорации ХАЭС, расположенном на расстоянии 140 м от берега ВО (восточный район) и 660 м от отводящего канала АЭС. Вода в пруду имела темно-оливковый цвет с желтым оттенком. Прозрачность по диску Секки составляла 0,2 м. По свидетельствам работников электростанции, подобное явление наблюдалось на протяжении двух последних лет в конце лета — начале осени.

В начале сентября 2014 г. численность *C. raciborskii* в этом пруду достигала 201,03 млн. кл/дм³ (24,7% общей), а биомасса — 15,52 мг/дм³ (55,6% общей), то есть по биомассе он выступал в качестве доминанта первого ранга. Вспышка его развития происходила на фоне высокого видового богатства фитопланктона (45 видов из 7 отделов). В аналогичный период 2015 г. было отмечено увеличение общих количественных показателей фитопланктона, главным образом за счет *C. raciborskii*, который доминировал и по численности (4302,74 млн. кл/дм³, 96,5%) и по биомассе (332,26 мг/дм³, 89,8%). В декабре 2015 г. в исследованном пруду этот вид зарегистрирован не был.

Второй водоем, в котором в сентябре 2015 г. было отмечено массовое развитие *C. raciborskii*, расположен в 400 м от первого и в 70 м от берега ВО. Это также замкнутый водоем небольшого размера (60×70 м). Интересно то, что он был обнаружен на основании изучения космоснимков исследуемого района в программе «Google Earth» по характерному насыщенному оливковому цвету. Здесь также происходило «гиперцветение» воды цианобактериями и в качестве доминирующего вида выступал *C. raciborskii*, достигая численности 1173,95 млн. кл/дм³ (49,5% общей) и биомассы 94,31 мг/дм³ (62,6%).

Следует отметить, что ранее в фитопланктоне ВО и других водных объектов техноэкосистемы ХАЭС *C. raciborskii* отмечен не был [7]. Впервые в ВО он обнаружен в сентябре 2015 г. в условиях значительного снижения уровня воды на мелководье восточного района. Он выступал в качестве доминанта по численности (13,95 млн. кл/дм³, 45,2% общей), при этом биомасса достигала 1,08 мг/дм³ (12,1%). Таким образом, его количественные показатели были гораздо ниже, чем в прудах.

Микроскопические исследования (световой микроскоп Axio Amager A1, ×1000, иммерсия)¹ показали, что трихомы водоросли одиночные, прямые, клетки цилиндрической формы длиной $11,30 \pm 0,33$ мкм, шириной $2,89 \pm 0,20$ мкм ($n = 20$). На одном или на обоих концах трихома находились гетероцисты конической каплевидной формы ($8,50 \pm 1,24 \times 3,01 \pm 0,15$ мкм, $n = 20$). В водоемах субтропической и тропической зон этот вид вегетирует круглогодично и акинет не образует либо формирует их крайне редко [1].

¹ Выражаем благодарность М. Г. Мардаревичу за помощь при работе с препаратами водорослей и микроскопом.

Нами акинеты были отмечены в большом количестве, длина и ширина их составляли соответственно $13,20 \pm 2,44$ и $4,30 \pm 0,47$ мкм ($n = 20$).

Заключение

Все рассмотренные виды цианобактерий принадлежат к одному семейству Nostocaceae и имеют тропическое и субтропическое происхождение (во всяком случае, первоначально были обнаружены в водоемах низких широт [14]). Там они развиваются, как правило, обильно, вызывая «цветение» воды. Обнаружение их в водоемах умеренных широт связано как с расширением возможностей распространения водорослей, так и с возрастающим антропогенным прессом на водные экосистемы, в частности со сбросами подогретых вод. Их массовое развитие зависит от наличия в водоеме оптимальных условий, прежде всего температурных.

В водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС виды-вселенцы были отмечены неоднократно [3, 4, 7, 9, 11, 13], что позволяет сделать заключение, что инвазийный процесс здесь происходит постоянно. Предпосылками этого являются своеобразный термический режим техноэкосистемы и ее определенная открытость для хозяйственной деятельности, а также влияние неконтролируемых факторов природного характера.

В настоящее время *C. raciborskii* обнаружен в рыбоводных прудах и на мелководье водоема-охладителя Хмельницкой АЭС. Учитывая тот факт, что оптимальное развитие вида происходит при температуре 25—30°C, иногда при 15—35°C, и его акинеты могут сохраняться в донных осадках при широком диапазоне температур [6], вероятность его массового развития в ВО также велика (как отмечено в ВО ЗАЭС). Особое значение это может иметь при строительстве новых блоков и увеличении мощности АЭС, что приведет к изменению существующего термического режима. Исследования на ВО ЗАЭС показали, что вспышки развития могут быть непродолжительными. Необходимо дальнейшее изучение процессов вселения и динамики популяций этого и других видов цианобактерий — потенциальных вселенцев.

**

Представлено факти інвазії та масового розвитку планктонних цианобактерій тропічного та субтропічного походження (Cylindrospermopsis raciborskii, Sphaerospermum aphanizomenoides, Cuspidothrix ussatschevii) у водоймах техноекосистем ТЕС і АЕС України. C. raciborskii у різний час був зареєстрований у водоймах-охолоджувачах Зуївської ДРЕС та Запорізької АЕС, а також у літоральній частині водойми-охолоджувача та рыбоводних ставках техноекосистеми Хмельницької АЕС, де викликав «гіперцвітіння». Sph. aphanizomenoides та C. ussatschevii було знайдено у водоймі-охолоджувачі Зуївської ДРЕС. Розвиток першого не досягав значного рівня, біомаса другого на максимальному рівні обумовлювала інтенсивне «цвітіння».

**

The facts of invasion and mass development of planktonic Cyanobacteria of tropical and subtropical origin (Cylindrospermopsis raciborskii, Sphaerospermum aphanizomenoides, Cuspidothrix ussatschevii) in reservoirs of TPP and NPP technoecosystems of Ukraine were presented. C. raciborskii has been registered at different times in the cooling ponds of

Zuevskaya TPP and Zaporizhzhya NPP and also in small quantities in the littoral part of the cooling pond and fish ponds of Khmelniysky NPP technoecosystem, where it caused of «hyperbloom». Sph. aphanizomenoides and C. ussatschevii were found in the cooling pond of Zuevskaya TPP. The development of the first did not reach a significant level, the biomass of the second, reaching a maximum, caused intense «bloom».

**

1. Бабаназарова О.В., Сигельцев С.И., Фастнер Д. Экспансия *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Цианопрокарюта) в северные широты: вспышка развития в мелководном высокоэвтрофном оз. Неро (Россия) // Альгология. — 2014. — Т. 24, № 4. — С. 526—537.
2. Виноградська Т.А. Про поширення та екологію рідкісних та цікавих видів синьозелених водоростей. — Укр. бот. журн. — 1974. — Т. 31, № 6. — С. 733—739.
3. Генкал С.И. Морфология, таксономия, экология и распространение *Cyclotella meduanae* Germain (Bacillariophyta) // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: Сб. материалов докл. III Междунар. науч. конф., 24—29 авг. 2014 г. — Ярославль: Филигрань, 2014. — С. 13—14.
4. Генкал С.И., Ярмошенко Л.П., Охалкин А.Г. Первые находки морского вида *Cyclotella marina* (Bacillariophyta) в пресноводных водоемах Европы // Альгология. — 2012. — Т. 22, № 4. — С. 431—440.
5. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред М. Ф. Поливанная. — Киев: Наук. думка, 1991. — 192 с.
6. Корнева Л.Г. Инвазии чужеродных видов планктонных водорослей в пресных водах Голарктики (обзор) // Рос. журн. биол. инвазий — 2014.— № 1. — С. 9—37.
7. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / Под ред. А. А. Протасова. — Киев, 2011. — 234 с.
8. *Algae of Ukraine: Diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. Vol. 1: Цианопрокарюта, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, and Rhodophyta / P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, E. Nevo. — Ruggel, 2006. — 713 p.
9. Genkal S.I., Yarmoshenko L.P. Centric diatoms (Bacillariophyta) of the cooling pond of the Khmelniyskiy nuclear power station (Ukraine) // Hydrobiol. J. — 2013. — Vol. 49, Iss. — P. 51—63.
10. Kalinichenko R.A., Sergeeva O.A., Protasov A.A., Sinitsyna O.O. The structure and functional characteristics of pelagic and contour communities of hydrobionts in the cooling pond of the Zaporozh'ye nuclear power station // Ibid. — 1999. — Vol. 35, Iss. 5. — P. 34—45.
11. 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.

12. *Protasov A.A., Silayeva A.A., Yarmoshenko L.P. et al.* Hydrobiological studies on the techno-ecosystem of the Zaporozhye nuclear power station // *Ibid.* — 2013. — Vol. 49, N 4. — P. 75—92.
13. *Silayeva A.A., Protasov A.A., Yarmoshenko L.P., Babariga S.P.* Invasive species of algae and invertebrates in the cooling pond of the Khmelnytskyi NPS. — *Ibid.* — 2010. — Vol. 46, N 2. — P. 13—21.
14. *Süßwasserflora von Mitteleuropa.* Freshwater Flora of Central Europe. Cyanoprokaryota. 3 Teil / 3rd part: Heterocytous Genera. J. Komarek. — Berlin; Heidelberg: Springer, 2013. — 1131 p.
15. *Woloszynska J.* Das Phytoplankton einiger Javanian Seen mit Berücksichtigung des Sawa-Planktons // *Bull. Int. Acad. Sci.* — 1912. — Ser. B 6. — P. 649—709.

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

Поступила 10.02.16