

УДК 574.5+621.311.22

В. А. Яковенко¹, А. А. Силаева², А. А. Протасов²¹ Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара² Інститут гідробіології НАН України, г. Київ**ИНВАЗИВНЫЕ БРЮХОНОГИЕ МОЛЛЮСКИ В ТЕХНОЭКОСИСТЕМЕ ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС**

Рассмотрены вопросы, связанные с вселением и развитием инвазивных видов брюхоногих моллюсков *Melanooides tuberculata* (Müller, 1774) и *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) в водных объектах техноэкосистемы АЭС. Обсуждается вопрос роли видов-инвайдеров в техноэкосистемах.

Ключевые слова: Запорожская АЭС, водоем-охладитель, инвазивные моллюски, зообентос, зооперифитон, *Melanooides tuberculata*, *Tarebia granifera*.

Вступление. Надежность и безопасность работы оборудования атомных и тепловых электростанций, связанного с использованием воды как естественных, так и специально созданных водоемов, определяется, кроме технических, также различными экологическими факторами.

Практически все обитатели водоемов-охладителей (ВО), других технических водоемов, в своей жизнедеятельности испытывают прямое или опосредованное воздействие самых различных техногенных факторов. С другой стороны, большая часть популяций водных организмов в той или иной мере (в некоторых случаях – крайне значительно) могут выступать агентами возникновения биологических помех в работе технических систем электростанций [1].

Каждый из блоков или участков техноэкосистемы характеризуется своеобразными условиями, которые определяют наличие здесь биоценозов различных организмов, приспособленных к этим условиям. Часть из этих организмов оказывает негативное воздействие на работу систем водоснабжения, однако развитие их происходит не изолированно, поскольку они объединены биоценотическими связями в сообществах. В связи с этим, причины формирования локальных биологических помех следует искать в функционировании всей системы в целом.

Формирование сообществ перифитонных организмов (обрастание) на различных субстратах в водозаборных сооружениях и водоводах, снижает эффективность их работы [2]. Для техноэкосистем АЭС и ТЭС эта проблема имеет особенное значение, поскольку наличие подогрева в таких водоемах создает благоприятные условия для интенсивного развития многих видов гидробионтов, в том числе субтропического и тропического происхождения [3–5]. На протяжении 2000–2008 гг. в разных странах мира произошло около 40 аварийных остановок ядерных энергоблоков в результате проблем с поступлением охлаждающей воды, большинство причин имело именно биогенную при-

роду [6].

В настоящее время вселение новых видов в различные водоемы происходит постоянно. Распространение вида за пределы его ареала (инвазивный процесс) важен в связи с тем, что многие из чужеродных (инвазивных) видов, изменяя структуру биоценозов, могут оказывать негативное влияние на деятельность человека, в частности, создавать биопомехи в работе различных технических систем.

Одной из причин вселения, в частности экзотических моллюсков, в водоемы может являться аквариумистика – при попадании гидробионтов с водой или грунтом из любительских, демонстрационных и исследовательских аквариумов. При этом, наиболее теплолюбивые виды, вероятно, способны выживать в зимний период в технических водоемах на участках влияния подогретых вод.

В водных объектах техноэкосистем АЭС и ТЭС Украины наиболее распространенным видом, вызывающим наибольшие биопомехи является дрейссена [3, 7]. Эти моллюски каспийского происхождения уже широко распространились в водоемах Европы и Северной Америки. Однако, список инвазивных видов, первичные ареалы которых находятся за пределами Украины, достаточно велик. Например, в ВО Хмельницкой АЭС обнаружено около 20 видов вселенцев [7]. Одним из видов-вселенцев в водоемы Украины, том числе и в ВО, стал тропический брюхоногий моллюск сем. Thiaridae *Melanooides tuberculata* (Müller, 1774) [8–12]. В 2006 г. в плавневой части р. Молочная был обнаружен второй вид этого семейства – *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) [13], а несколько позднее – в ВО Запорожской АЭС [14]. В настоящее время эти моллюски уже широко распространены в водоемах Южной, Центральной и Северной Америки, в водоемах юга Европы [8, 15, 16 и др.].

Материалы и методы исследований. Исследования беспозвоночных бентоса и перифитона техноэкосистемы Запорожской АЭС (ЗАЭС) про-

водили в сентябре (водоем-охладитель) и октябре (технические объекты) 2017 г., в марте 2018 г. При исследовании уровня развития моллюсков-тиарид особое внимание было уделено техногенным твердым субстратам – бетонным откосам подводного канала (ПК), внутренним поверхностям трубопроводов, бетонной поверхности аванкамеры градирни. Также исследовали природные субстраты, в частности, стебли тростника, который вегетировал в ПК до глубины 0,6–0,7 м, с шириной полосы зарослей 10 и более метров. Температура в осенний период в технических объектах была достаточно высокой (в градирне более 35°, в трубопроводе 24–30°C), в ПК – 19°. В фоновом водном объекте (Каховское водохранилище) – около 12°C.

В техноэкосистему ЗАЭС входит водоем-охладитель, подводный и отводящий каналы, системы водоснабжения АЭС, связанные с водоисточником – Каховским водохранилищем. Источником подпитки системы циркуляционного водоснабжения ЗАЭС является отработанная вода из сбросного канала Запорожской ТЭС, а также технический водозабор из Каховского водохранилища.

Особенностью системы охлаждения является то, что часть воды из отводящего канала поступает непосредственно в подводный канал через брызгальные устройства. Часть сбросной подогретой воды из отводящего канала попадает в ВО через два струераспределительных устройства. ВО ЗАЭС эксплуатируется в режиме практически постоянной продувки (9 мес.) с водовыпуском в Каховское водохранилище.

В 2015 г. в ВО ЗАЭС были зафиксированы два вида пресноводных моллюсков *M. tuberculata* и *T. granifera* [12, 13]. (фото 1). Ареал тиарид весьма обширен, их можно встретить практически во всей Африке – от Марокко до Мадагаскара, в Азии – от Турции до Малайзии, а также в Австралии. Естественное расселение моллюсков в водоемы может происходить, вероятно, за счет птиц. В естественных условиях в пределах своего ареала они населяют небольшие водоемы со слабым течением, обитают преимущественно в литоральной зоне на глубине до 1 м, иногда встречаются и на глубине до 3–4 м. Тиариды предпочитают мягкие грунты, состоящие из смеси ила, песка, глинистых наносов. Моллюски могут образовывать достаточно плотные поселения (до 20–35 тыс. экз/м²) как на дне, так и на подводных частях макрофитов [17]. Они способны активно перемещаться по поверхности дна и углубляться в его толщу. Основу пищевого рациона тиарид составляют водоросли (преимущественно диатомовые), полуразложившаяся органика и пр., то есть эти виды являются типичными собирателями-детритофагами.

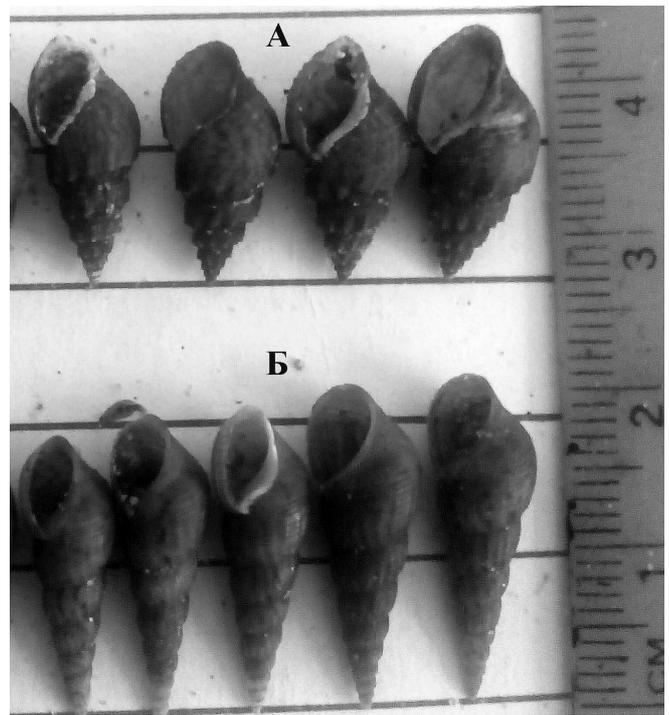


Фото 1. Брюхоногие моллюски-тиариды, обитающие в техноэкосистеме ЗАЭС, октябрь 2017 г. А – *Tarebia granifera*, Б – *Melanoides tuberculata*

Размножаются моллюски в основном партеногенетически, являются живородящими. Моллюск вынашивает яйца, из которых появляются уже полностью сформированные маленькие особи, которые сразу же зарываются в грунт. Количество новорожденных тиарид может колебаться в зависимости от размера самого моллюска и составлять от 10 до 60 шт. *M. tuberculata* и *T. granifera* теплолюбивые организмы, при температуре воды ниже 7–10°C они погибают.

Результаты исследований и их обсуждение.

По данным исследования зообентоса (сентябрь 2017 г.) в ВО ЗАЭС тиариды были обнаружены лишь в южном районе ВО на глубине 1,0 и 4,5 м. При этом, на грунте были отмечены оба вида, а на твердых субстратах, лежащих на дне (ветки) – только *T. granifera*. Температура воды в этих биотопах составляла 28 °C. Численность и биомасса *M. tuberculata* были невысокими: на глубине 1,0 м соответственно, (80 экз/м² и 12,32 г/м²), а на глубине 4,5 м – в 2 раза ниже (40 экз/м² и 6,40 г/м²). Показатели обилия *T. granifera* были выше, особенно в перифитоне с такой же тенденцией увеличения показателей обилия на меньшей глубине: на 1,0 м – 240 экз/м² и 36,00 г/м², на глубине 4,5 м – 120 экз/м² и 12,70 г/м², в перифитоне на глубине 1 м – 367 экз/м² и 57,96 г/м².

В октябре обследование техногенных субстратов показало достаточно высокий уровень развития тиарид, особенно на участках ВО с повышенной температурой воды (таблица 1). Максимальная плотность моллюсков отмечена на поверхнос-

ти бетона в аванкамере градирни, где, вероятно, популяции обоих видов моллюсков существует постоянно, поскольку здесь круглогодично поддерживается достаточно высокая температура воды. Из-за замкнутой системы циркуляционного водоснабжения эта часть популяции может служить постоянным источником распространения моллюсков в других водных объектах техноэкосистемы ЗАЭС. Так как популяции тиарид отмечаются в техноэкосистеме ЗАЭС уже несколько лет и на участках с подогретой водой обитают и в холодное время года, то можно предположить, что эти моллюски натурализовались в техноэкосистеме ЗАЭС. Так, по результатам водолазного обследования зимой поселения тиарид обнаруживаются в отводящем канале на большой глубине.

Как на техногенных, так и природных субстратах в техноэкосистеме ЗАЭС в совместных поселениях тиарид значительно преобладали *T. granifera*, их доля в общих показателях обилия составляла более 80% (рисунок 1).

Размерная структура популяций двух видов тиарид несколько различалась (рисунок 2). В популяции *M. tuberculata* было выделено 5 размерных групп 1–5 мм, 6–9 мм, 10–13 мм, 14–17 мм, 18–21 мм. В популяции *T. granifera* было определено 4 размерных группы – особи размерной группы 18–21 мм отсутствовали, преобладали моллюски размерной группы 6–9 мм. Средняя высота раковины *M. tuberculata* была $14,33 \pm 6,12$ мм, варьируя от 2 до 21 мм, *T. granifera* – $8,27 \pm 2,83$ мм (от 2 мм до 17 мм). Преобладание младшей размерной группы *T. granifera* подтверждает то, что популяция постоянно пополняется молодыми особями.

Значительного развития тиариды достигали и в других ВО АЭС Украины. По результатам исследований зообентоса ВО Южно-Украинской АЭС осенью 2005 года в приплотинной части на глубине 3–6 м на слабо заиленных песках и мелком щебне со створками отмершей дрейссены были обнаружены моллюски *M. tuberculata*.

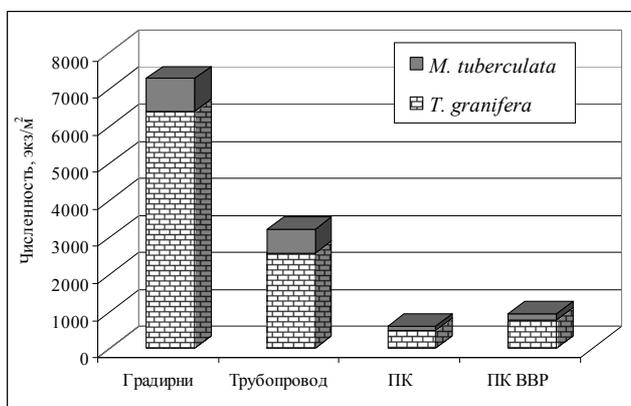


Рисунок 1. Соотношение численности тиарид на техногенных и природных субстратах в техноэкосистеме ЗАЭС, октябрь 2017 г. «ПК» – подводный канал; «ПК ВВР» – подводный канал, заросли высшей водной растительности – тростника

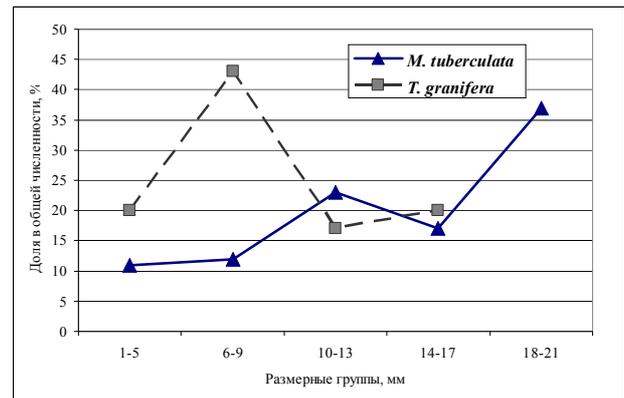


Рисунок 2. Размерная структура популяций тиарид в водных объектах техноэкосистемы ЗАЭС, октябрь 2018

Численность их составляла 100–400 экз/м², биомасса – 6,0–35,0 г/м², преобладали моллюски с высотой раковины 9–10 мм [10]. По результатам дальнейших исследований (2006, 2009–2011 гг.), можно было заключить, что этот моллюск натурализовался в ВО. Он постоянно встречается в зообентосе в средней и приплотинной части и доминирует по численности и биомассе, иногда достигая 99% показателей обилия. Так, летом 2009 г. на прибрежных участках количественные показатели моллюска *M. tuberculata* составляли на глубине 2 м – 2,6 тыс. экз/м² и 276,0 г/м², а на глубине 5 м – 7,7 тыс. экз/м² и 623,0 г/м² [11].

Таким образом, как показали исследования водных объектов техноэкосистем АЭС Украины, вселившиеся виды тропических брюхоногих моллюсков-тиарид нашли здесь достаточно благоприятные условия обитания. При этом, уровень развития вида *Tarebia granifera* в техноэкосистеме ЗАЭС более высокий, чем *Melanoides tuberculata*.

В отличие от дрейсенид, которые прикрепляются к субстрату и могут образовывать мощное обрастание, брюхоногие моллюски могут создавать биопомехи в случае перенесения потоком воды скоплений моллюсков. Например, были отмечены биологические помехи в работе оборудования от живородок *Viviparus viviparus* на Змиевской ГРЭС [18].

По информации персонала ЗАЭС с 2015 г. тиариды вызвали существенные помехи в работе систем водоснабжения ЗАЭС (таблица 2). Биопомехи наблюдались практически на всех энергоблоках ЗАЭС. В частности, на вращающихся сетках блочных насосных станций (БНС) за сутки скапливалось до нескольких кубометров биогенного материала (живых моллюсков и большого количества пустых раковин). Поскольку сетки не задерживают полностью этого дрейфового биогенного материала, моллюски и их раковины отмечались и в системе техводоснабжения. Значительных биопомех на насосных станциях, обеспечивающих брызгальные устройства в ПК, отмечено не было.

Таблица 1. Показатели обилия брюхоногих моллюсков-тиарид в различных биотопах техноэкосистемы ЗАЭС, октябрь 2017 г.

Показатели	<i>M. tuberculata</i>		<i>T. granifera</i>	
	N, экз/м ²	B, г/м ²	N, экз/м ²	B, г/м ²
Градирни				
ср±σ	895±251	142,68±41,04	6382±1207	803,02±125,75
min-max	540-1400	86,40-225,80	4040-8500	515,90-967,30
Трубопровод техводоснабжения				
ср±σ	639±341	101,03±51,57	2568±1354	319,45±159,50
min-max	200-11400	30,50-171,50	900-5200	117,80-615,20
Подводящий канал, бетон				
ср±σ	83±40	13,17±6,18	427±151	59,87±21,36
min-max	40-120	6,30-18,30	320-600	44,70-84,30
Подводящий канал, тростник (показатели на м ² дна)				
ср±σ	160±42	25,44±6,24	768±311	108,98±43,30
min-max	110-240	18,20-37,80	480-1480	71,40-208,70

Таблица 2. Биологические помехи в техноэкосистеме ЗАЭС (по данным технического персонала)

Период получения информации	Локализация	Характер биопомех
Сентябрь 2015 г.	Энергоблок № 6, трубопроводы охлаждающей и пожарной воды, теплообменное оборудование	Скопление влекомых наносов. Раковины (в основном пустые) моллюсков
Август 2016 г.	Энергоблок № 4, трубопроводы охлаждающей и пожарной воды, теплообменное оборудование	-*-
Июнь 2016 г.	Энергоблок № 5, конденсатор турбины, сетки, охладитель промконтура, аванкамеры циркуляционных насосов, мусоросборник	-*-
Июль 2016 г.	Энергоблок № 5, вращающиеся сетки, трубопроводы охлаждающей воды, теплообменное оборудование	-*-
Декабрь 2016 г.	Энергоблок № 1, фильтры предочистки	Раковины (в основном пустые) моллюсков дрейссена* и мелания
29.12.2016 г.	Подводящий канал, аванкамера циркуляционных насосов, вращающиеся сетки БНС 1- 6	
21.04.2017	Энергоблок № 3, ковш БНС 3	Моллюски мелания и дрейссена*, другой бытовой мусор с ориентировочным объемом 2 м ³

Примечание. * Персоналом было отмечено наличие дрейссены, хотя начиная с 2000-ных годов по данным гидробиологических исследований эти моллюски в техноэкосистеме ЗАЭС не фиксировались.

Заключение. Необходимо отметить, что фиксация биологических помех происходит в период, когда тот или иной их биологический агент уже достиг в техноэкосистеме значительного развития. Так, в свое время были зафиксированы биологические помехи, вызванные развитием дрейссены в период планово-предупредительного ремонта на Хмельницкой АЭС в 2004 и 2005 гг., хотя этот моллюск вселился в водоем-охладитель несколькими годами ранее [1, 5].

Из этого следует вывод, что гидробиологический мониторинг техноэкосистем АЭС должен проводиться постоянно, в том числе мониторинг,

направленный на выявление новых видов гидробионтов, которые могут быть нежелательными и/или опасными в плане создания биологических помех в работе оборудования. Кроме того, в период потенциальной или реальной угрозы биологических помех все системы водоснабжения должны работать в особом режиме, с учетом, в частности, периодов размножения, оседания личинок гидробионтов и т.п.

Очевидно, должен быть разработан специальный Регламент эксплуатации оборудования в период интенсивных биопомех, который должен учитывать сезонные аспекты, климатические фак-

торы, возможность механической очистки фильтров и сокращение периода между чистками и др. Необходимо также анализ экономической и технической эффективности мероприятий по борьбе с

источником биопомех в сравнении с мероприятиями по определенной адаптации систем водоснабжения к ним.

Список использованной литературы

1. Protasov A. A., Panasenko G. A., Babariga S. P. Biological Hindrances in Power Stations Exploitation, Their Typization and Main Hydrobiological of Control // *Hydrobiol. J.* – 2009. – Vol. 45, N 1. – P. 32–46.
2. Звягинцев А.Ю., Мощенко А.В. Морские техноэкосистемы энергетических станций. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 310 с.
3. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. и др. – К.: Наук. думка, 1991. – 192 с.
4. Sakaguchi I. An overview of the antifouling technologies in power plant cooling water systems // *Sessile Organisms.* – 2003. – Vol. 20, N 1. – P. 15–19.
5. Протасов А.А., Силаева А.А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС. – Киев, 2012. – 274 с.
6. Гідроекологічна безпека атомної енергетики в Україні / В.Д. Романенко, М.І. Кузьменко, С.О. Афанасьєв та ін. // *Вісн. НАН України.* – 2012. – № 6. – С. 41–51.
7. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки. – Киев, 2011. – 234 с.
8. Grigorovich I.A., MacIsaac H.J., Shadrin N.V., Mills E.L. Patterns and mechanisms of aquatic invertebrate introductions in the Ponto-Caspian region // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2002. – Vol. 59. – P. 1189–1208.
9. Сон М.О. Моллюски вселенцы в пресных и солоноватых водах Северного Причерноморья. – Одесса: Друк, 2007. – 132 с.
10. Ляшенко А.В, Слепнев А.Е. Находка *Melanooides tuberculata* (Muller, 1774) в водоеме-охладителе Южно-Украинской атомной электростанции // *Эколого-функціональні та фауністичні аспекти дослідження молюсків, їх роль у біоіндикації стану навколишнього середовища: Зб. наук. праць.* – Житомир: Вид-во ЖДУ, 2006. – Вип. 2.– С. 187–190.
11. Слепнев А.Е., Силаева А.А. О натурализации *Melanooides tuberculata* (Thiaridae, Gastropoda) в водоеме-охладителе Южно-Украинской АЭС // *Вестн. зоологии.* – 2013. – № 47. – С. 178.
12. Климчук А. Біологічні особливості інвазійного виду гастропод *Melanooides tuberculata*: Abstr. VIII Intern. Conf. «Zoocenosis-2015. Biodiversity and Role of Animals in Ecosystems», Dnipro, 21–23.12.2015. – Dnipro, 2015. – P. 78–79.
13. Халиман И.А., Анистратенко В.В. *Melanooides granifera* – еще один чужеродный вид моллюсков в фауне Украины // *Вестн. зоологии.* – 2006. – Т. 40, № 4. – С. 320.
14. Маренков О.Н. Биоинвазия моллюсков *Melanooides tuberculata* и *Tarebia granifera* (Thiaridae, Gastropoda) в водоеме-охладителе Запорожской АЭС: Abstr. IX Intern. Conf. «Zoocenosis-2017. Biodiversity and Role of Animals in Ecosystems», Dnipro, 20–22.11.2017. – Dnipro, 2017. – P. 44.
15. Murray H.D. 1964: *Tarebia granifera* and *Melanooides tuberculata* in Texas // *American Malacological Union Inc. Annual report.* – 1964. – P. 15–16.
16. Pointier J.P., Incani R.N., Balzan C., Chrosciechowski P., Prypchan S. Invasion of the rivers of the littoral central region of Venezuela by *Thiara granifera* and *Melanooides tuberculata* (Mollusca: Prosobranchia: Thiaridae) and the absence of *Biomphalaria glabrata*, snail host of *Scistosoma mansoni* // *The Nautilus.* – 1994. – Vol. 107. – P. 124–128.
17. Duggan I.C. First record of a wild population of the tropical snail *Melanooides tuberculata* in New Zealand natural waters // *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research.* – 2002. – Vol. 36. – P. 825–829.
18. Васенко О.Г. Екологічні основи водоохоронної діяльності в теплоенергетиці. Бібліотека журналу ІТЕ. Т. 1 – Харків: УкрНДІЕП, 2000. – 243 с.

Получено 13.03.2018

Работа выполнена при поддержке МОН Украины, проект М/22–2018 совместного Украинско-Белорусского сотрудничества.