

УДК 574.522

Г. В. ТЕРЕНЬКО

Украинский научный центр экологии моря, Одесса
Французский бульвар, 89, Одесса, 65009**ДИНАМИКА ЦВЕТЕНИЙ ПРЕСНОВОДНО-СОЛОНОВАТОВОДНОЙ ДИНОФИТОВОЙ *PERIDINIOPSIS PENARDII* В ОДЕССКОМ ЗАЛИВЕ ЧЕРНОГО МОРЯ (УКРАИНА)**

Исследован первый случай «цветения» воды, вызванный пресноводно-солонатоводной динофитовой водорослью *Peridiniopsis penardii* (Lemmerm.) Bourg. 1968 в Одесском заливе Черного моря. Анализируется динамика «цветений» *P. penardii* на протяжении трех лет и обсуждаются возможные причины этого явления. Полученные данные позволяют расширить знания об экологии и ареале распространения вида. Установлено, что *P. penardii* способен существовать в широком диапазоне солености и узком диапазоне температур, является компонентом зимнего фитопланктона, предпочитая замкнутые акватории моря. Появление вида, возможно, является следствием глобальных климатических изменений, в частности, увеличения числа «теплых зим» в черноморском регионе за последние семь лет.

Ключевые слова: *Peridiniopsis penardii*, динофлагелляты, «цветение» воды, температура, соленость, зима, Одесский залив, Чёрное море

Впервые желто-коричневое «цветение» воды, вызванное массовым развитием пресноводно-солонатоводной динофлагелляты *Peridiniopsis penardii* (Lemmerm.) Bourg. 1968 (*Peridinium penardii* Lemmerm. 1910, *Glenodinium penardii* Lemmerm, *G. penardii* f. *major* Er. Lindem, *Peridinium cinctum* Penard., *P. andrzejowskii* Wołosz., *Peridiniopsis penardii* f. *major* (Er. Lindem.) Bourg.), было отмечено в украинской части Черного моря в марте 2011 г. [8]. Этот не токсический планктонный вид динофлагеллят впервые в северо-западной части моря был отмечен в период с 1966–2003 гг. Д.А. Нестеровой, Л.М. Теренько и др., в Хаджибейском и Григорьевском лиманах [5]. Еще один вид *Durinskia occulata* (F. Stein) G. Hansen et Flaim, ранее – *Peridiniopsis oculatum* (Stein) Bourg., был отмечен в 1990-х и начале 2000-х годах, в зимнем планктоне Одесского залива, а также в южной части Тилигульского лимана и в прибрежной зоне о. Змеиный, при средней численности 5,71 тыс. кл.л⁻¹ и биомассе 0,13 мг·м⁻³ [9]. *Peridiniopsis polonicum* (Wołosz.) Bourg. (*Peridiniopsis gymnodinium* (Penard) Bourg. отмечен в Григорьевском и Дофиновском лиманах; *Glochidinium penardiforme* (Er. Lindem.) Boltovskoy (*Peridiniopsis penardiforme* (Er. Lindem.) Bourg. – в Одесском заливе, Шаболатском и Григорьевском лиманах [5].

В монографии, посвященной планктону Каспийского моря [6], для *P. penardii* указываются более мелкие размеры клеток (20–28 мкм дл., 20–22 мкм шир.), чем в последующих сводках (27–42 мкм дл., 25–35 мкм шир.) [1]. В сводке по динофитовым водорослям Украины, приводится еще более широкий диапазон размеров клеток: 12–42 мкм дл., 25–38 мкм шир. [3].

Большинство авторов относят данный вид к пресноводному комплексу, обитающему в планктоне рек, прудов, озер, луж, водохранилищ, с доминированием в летний период, при солености 7,2–11,9 ‰ и температуре воды 24,8–26,0 °С. Однако Прошкина-Лавренко и др., 1968, оставляет за собой право, считать, что: «возможно, этот вид является галлофилом, так как найден нами при значительном содержании солей в воде», что было подтверждено нашими исследованиями, как и тот факт, что морская популяция вида однозначно является компонентом зимнего фитопланктона.

Род *Peridiniopsis* насчитывает 53 вида и разновидностей микроводорослей пресноводного и пресноводно-солонатоводного комплексов. Вид отмечен также в планктоне румынской части Черного моря, в Балтийском, Каспийском, Японском морях, в континентальных водоемах Европы, Азии, Африки и Новой Зеландии [4].

Материал и методы исследований

Материалом для работы послужили 108 проб фитопланктона, отобранные в акваториях 2-х станций, расположенных в прибрежной зоне Одесского залива – Аркадии (открытая) и Мысе Малый Фонтан (полузамкнутая) в зимний период 2011–2016 годов (рис. 1).

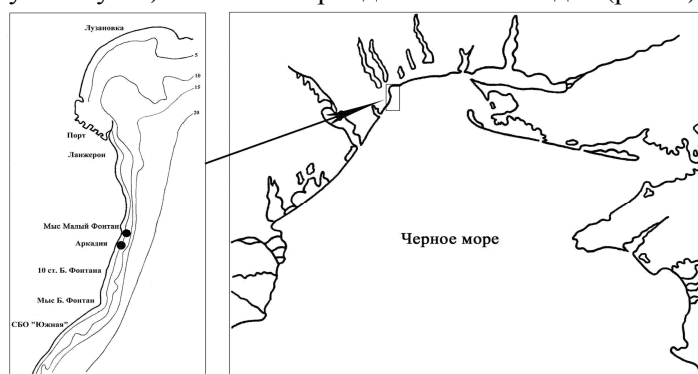


Рис. 1. Карта-схема отбора проб в открытой (Аркадия) и полузамкнутой (Мыс Малый Фонтан) акваториях Одесского залива Черного моря в зимний период 2011–2016 годов

Пробы фитопланктона отбирали батометром Молчанова с поверхностного горизонта 4 раза в месяц, параллельно проводили определение гидрологических и гидрохимических параметров морской среды. Пробы воды объёмом 1,5–2 л концентрировали методом обратной фильтрации, с использованием ядерных (нуклеопоровых) фильтров с диаметром пор 1,5 мкм, сгущая до объема 50–60 мл, с последующей фиксацией 40 %-ным нейтрализованным формалином. В дальнейшем, проводили повторное сгущение, доводя объем пробы до 20–30 мл. Пробы обрабатывали, также, в «живом» нефиксированном виде. Количественный учёт клеток проводили в счётной камере Ножотта объёмом 0,05 мл под световым микроскопом «Микмед-2» при увеличении $\times 400$, $\times 600$ с использованием фазово-контрастной микроскопии. Расчёты численности и биомассы проводили с помощью программного обеспечения РНУТО–2 © ГПОЭД УкрНЦЭМ, 1997 v. 2.2.

Результаты исследований и их обсуждение

В работе изложены результаты исследования шестилетнего мониторинга за развитием динофитовой водоросли *P. penardii* в зимний период (январь–март) 2011–2016 гг., который соответствует гидрологическим сезонам [2].

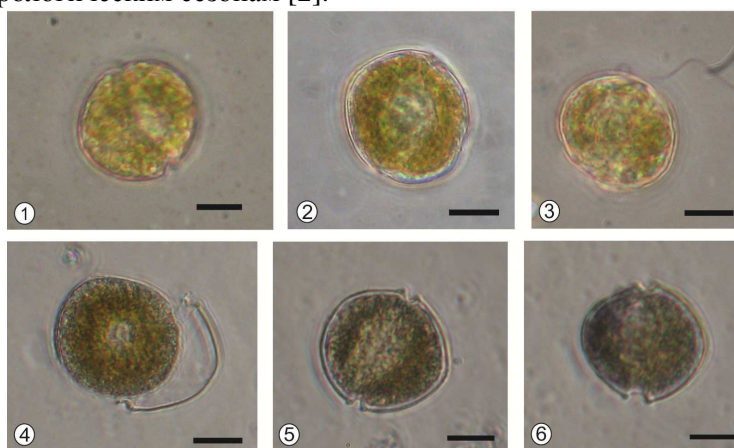


Рис. 2. *P. penardii* из Одесского залива Черного моря: 1–3 – живые «молодые» вегетативные клетки; 4–6 – сформированные клетки, окрашенные Люголем, 1–6 – СМ, фазовый контраст, масштаб – 10 мкм

В зимний период 2011 г., в результате преобладания ветров северо-восточного направления, усиливающих перенос водных масс из Днепровско-Бугского лимана, в заливе впервые наблюдали «цветение» воды, вызванное аллохтонным видом *P. penardii* (рис. 2).

Развитие вида в открытой и полузамкнутой акваториях залива имело свои особенности. Так, в открытой акватории Аркадии промежуточная округлая стадия вида была обнаружена 19 января с численностью 13,02 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 0,05 г·м⁻³, при температуре морской воды 4,02 °С и солености 13,31 ‰, тогда как в полузамкнутой акватории Мыса Малый Фонтан на 2 месяца позже – в марте. Оформившуюся популяцию *P. penardii* с численностью 58,74 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 0,88 г·м⁻³, наблюдали в Аркадии 11 марта, при температуре морской воды 1,11 °С и солености 14,67‰. Как только, 16 марта, соленость воды уменьшилась на 6,8 ‰, а температура морской воды увеличилась на 2,42 °С, численность вида резко возросла до величин «цветения» – 928,69 тыс. кл·л⁻¹, биомасса 6,72 г·м⁻³, при температуре морской воды 3,53 °С и солености 7,87 ‰. Столь высокие количественные характеристики вида определялись большим средневзвешенным объемом клеток от 7235 до 59704 мкм³. Максимальные количественные показатели *P. penardii* были отмечены в полузамкнутой акватории – 1,29 млн. кл·л⁻¹ и 9,35 г·м⁻³, при температуре морской воды 3,46 °С и солености 7,44 ‰ (табл. 1; рис. 3. А, Б). В период «цветения» вида наблюдался максимум концентрации кислорода для холодного периода (14,2 мкг·дм⁻³ и 112 ‰). Дальнейшее увеличение солёности 23 марта до 15,00 ‰, привело к резкому снижению численности вида до 5,46 тыс. кл·л⁻¹, и биомассы до 0,04 г·м⁻³, а дальнейшее её повышение до 16,17 ‰ (13 апреля), привело к полной элиминации вида в планктоне.

В период «цветения» *P. penardii* (88 % от общей биомассы), было отмечено 17 видов микроводорослей, относящихся к 6 отделам: на долю диатомовых приходилось 3 %; динофитовых – 7 %, зеленых 2 %; золотистых, синезеленых и криптофитовых, менее 1 % от общей биомассы фитопланктона. Большинство видов были морскими (41 %) и пресноводными (53 %), пресноводно-солонатоводные – 6 % от общего числа видов.

В табл. 1 приведены значения гидрологических и гидрохимических показателей водной среды во время «цветения» *P. penardii*.

Таблица 1

Гидролого-гидрохимические и количественные показатели «цветений» *P. penardii* в полузамкнутой акватории Мыса Малый Фонтан в период 2011, 2015, 2016 гг.

Показатели	16.03.2011	21.01.15	25.02.2015	12.02.2016
Температура, Т °С	3,46	1,60	2,00	2,00
Соленость, S ‰	7,44	7,43	12,98	12,60
Кислород, O ₂ , мкг·дм ⁻³ , (%)	14,2 (112)	14,6 (110)	10,7 (85)	12,7 (100)
pH, ед. pH	8,61	8,62	8,49	8,53
Фосфор минеральный, P _{PO4} , мкг·дм ⁻³	25,00	52,70	23,4	25,8
P _{орг.} , мкг·дм ⁻³	39,00	52,30	3,40	34,1
P _{общ.} , мкг·дм ⁻³	64,00	105,0	26,8	59,9
Азот нитритный, N _{NO2} , мкг·дм ⁻³	<0,5	4,84	4,05	0,82
Азот нитратный, N _{NO3} , мкг·дм ⁻³	8,90	8,26	1,33	40,4
Аммонийный азот, N _{NH4} , мкг·дм ⁻³	<15	<15	<15	38,8
N _{орг.} , мкг·дм ⁻³	3857	406	505	618
N _{общ.} , мкг·дм ⁻³	3866	419	510	698
Si, мкг·дм ⁻³	1900	1470	540	1410
N _{pp} , млн. кл·л ⁻¹	1,292	0,190	0,656	0,177
B _{pp} , г·м ⁻³	9,35	1,34	4,60	2,55

Следует отметить, что накануне «цветения» в северо-западной части Черного моря преобладали ветра юго-восточных и южных румбов, которые «концентрировали» распресненные воды Днепровско-Бугского лимана во вдольбереговом потоке в сторону города Одессы (по данным ГМС Одесса-Порт).

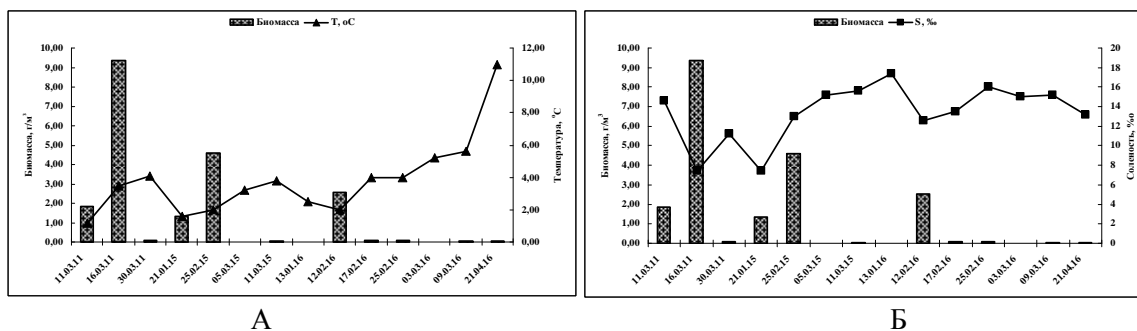


Рис. 3 Динамика биомассы *P. penardii* с температурой воды (А) и соленостью (Б) в полузамкнутой акватории Мыса Малый Фонтан в зимний период 2011, 2015, 2016 годов

На протяжении трех лет наблюдений (2012–2014 гг.) данный вид в планктоне не обнаруживался.

Зимой 2015 г. развитие *P. penardii* носило двухфазный характер. Так, в полузамкнутой акватории, первая вспышка вида произошла 21 января, с численностью клеток 189,80 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 1,34 г·м⁻³, при температуре морской воды 1,60 °С и солености 7,43 ‰. Максимальную, вторую вспышку, 25 февраля, наблюдали здесь же, с численностью 655,68 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 4,60 г·м⁻³, при температуре морской воды 2,00 °С и солености 12,98 ‰ (табл. 1; рис. 3 А, Б). Дальнейшее увеличение температуры до 3,8 °С и солёности до 15,62 ‰, 11 марта, привело к резкому снижению численности вида в планктоне залива до 2,37 тыс. кл·л⁻¹, и биомассы до 0,03 г·м⁻³. В конце марта, при солености 17,31 ‰ и температуре 5,2 °С, вид в планктоне не обнаруживался.

В открытой акватории залива, вид развивался 18 февраля с численностью 6,49 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 0,04 г·м⁻³, при солености 15,80 ‰ и температуре 0,00 °С. «Цветение» *P. penardii* отмечали 25 февраля с численностью 181,62 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 3,45 г·м⁻³, при температуре морской воды 2,00 °С и солености 13,21 ‰. Окончание вегетационного периода вида приходилось на начало апреля, с численностью 2,81 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 0,04 г·м⁻³, при температуре морской воды 6,20 °С и солености 16,03 ‰.

В период «цветения» *P. penardii* (от 89 % до 94 % от общей биомассы), было отмечено от 14 до 21 видов микроводорослей, относящихся к 5 отделам: на долю диатомовых приходилось от 2 % до 3 %; динофитовых – от 2 % до 8 %, зеленых – 1 %; синезеленых и флагеллят менее 1 % от общей биомассы фитопланктона. Большинство видов были морскими (52 %) и пресноводными (45 %), пресноводно-соленоводные – 3 % от общего числа видов.

Как и в первом случае, массовому развитию динофитовой водоросли предшествовала ветровая составляющая. Так, начиная с 17 января, в северо-западной части моря наблюдались исключительно ветра южных румбов 3 м·с⁻¹, которые создавали благоприятные условия для переноса вод из Днепровско-Бугского лимана по направлению к Одесскому заливу. Благоприятные гидрометеорологические условия, в совокупности со слабыми ветрами 19 и 20 января, близкими к штилю и не влияющими на гидрологический режим вод залива, заложили основу для «цветения».

Третий случай массового развития *P. penardii* был отмечен 12 февраля 2016 г., с численностью 177,22 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 2,55 г·м⁻³ в полузамкнутой акватории, при температуре морской воды 2,00 °С и солености 12,60 ‰ (табл. 1; рис. 3 А, Б). Одним из факторов, предшествовавших «цветению», явилось выпадение обильных осадков 29 декабря 2014 г., что привело к распреснению вод залива. Так, в период с 3 по 12 февраля 2016 г. соленость морской воды снизилась в 1,4 раза, т.е. на 5,08 ‰. Вторым предвестником «цветения», явился шторм, который наблюдали 10 февраля 2016 г., при силе ветра 11 м/с, в результате чего произошел перенос цист *P. penardii* из придонных слоев воды, в верхние. В открытой акватории залива, вид в планктоне обнаруживался также 12 февраля, с численностью 36,4 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 0,124 г·м⁻³, при солености 13,24 ‰ и температуре 2,00 °С. Максимальные значения вида отмечены 17 февраля с численностью 45,7 тыс. кл·л⁻¹ и

биомассой 0,233 г·м⁻³, при температуре морской воды 4,00 °С и солености 13,61 ‰. Отдельные клетки вида отмечались в планктоне 9 марта 2016 г., с численностью 23,71 тыс. кл·л⁻¹ и биомассой 0,216 г·м⁻³, при температуре морской воды 5,60 °С и солености 14,05 ‰.

В период «цветения» *P. penardii* (88 % от общей биомассы), было отмечено 15 видов микроводорослей, относящихся к 4 отделам: на долю диатомовых приходилось 3 %; динофитовых – 3 %, зеленых 1 %; синезеленых – менее 1 % от общей биомассы фитопланктона. Большинство видов были морскими (73 %) и пресноводными (20 %), пресноводно-солонатоводные – 7 % от общего числа видов.

В результате изучения популяций *P. penardii* в различных акваториях северо-западной части Черного моря, было обнаружено различие средних морфометрических параметров клеток: средняя длина и ширина клеток в открытой акватории были максимальными – 29,51 мкм дл., 27,51 мкм шир.; в полузамкнутой акватории – 23,91 мкм дл., 21,04 мкм шир.; в Григорьевском лимане – 26,32 мкм дл., 22,95 мкм шир. Истинные размерные характеристики черноморской популяции были следующими: длина клеток изменялась от 19,13 мкм до 35,70 мкм; ширина – от 17,85 мкм до 31,88 (48,45) мкм (табл. 2).

В течение всего периода исследований в Одесском заливе *P. penardii* развивался в широком диапазоне концентрации общего азота и фосфора, но узком диапазоне температур: в полузамкнутой акватории – от 1,15 °С до 5,6 °С, отдельные клетки отмечались 24.04.16, при температуре 11,00 °С; в открытой акватории – от 0,00 °С до 5,60 °С, отдельные клетки отмечались 6.04.11 и 2.04.15, при температуре 7,01 °С и 6,02 °С соответственно. И, широком диапазоне солености: в полузамкнутой акватории – от 7,43 ‰ до 17,35 ‰; в открытой акватории – от 7,87 ‰ до 17,31 ‰.

Таблица 2

Морфометрическая характеристика *P. penardii* в различных акваториях северо-западной части Черного моря в 2011–2016 гг.

Дата	Длина, мкм	Ширина, мкм
Открытая акватория Аркадии		
11.03.2011	30,60	30,60
18.02.2015	22,95	20,40
18.02.2015	28,05	22,95
25.02.2015	35,70	31,88
5.03.2015	29,33	29,33
25.02.2016	33,15	31,88
9.03.2016	26,78	25,50
Среднее	29,51	27,51
Полузамкнутая акватория Мыса Малый Фонтан		
30.03.2011	19,13	17,85
25.02.2015	25,50	22,95
12.02.2016	20,40	17,85
25.02.2016	30,60	25,50
Среднее	23,91	21,04
Григорьевский лиман		
18.03.2011	25,95	22,95
18.03.2011	22,95	17,85
18.03.2011	30,06	28,05
Среднее	26,32	22,95

Наибольшей биомассы вид достиг в зимний период, при температуре воды от 1,60–3,46 °С и солености 7,43–12,98 ‰. Предпочтительными для *P. penardii* явились замкнутые акватории залива, с ограниченным водообменом, в которых создаются аквариумальные условия для формирования максимальных величин количественных показателей. Обнаружение сферических гипноспор и сформированных клеток *P. penardii* в альгоценозе на протяжении всех зимних месяцев (с января по март), дает основание предположить о формировании его стойкой черноморской популяции.

Вселенню прісноводно-солонатоводного виду в екосистему Одеського залива предшествовав ряд глобальних кліматических перестроек: починаючи з 20-х років минулого століття, відзначалась тенденція зменшення суровості зимніх умов в северо-западному Причорномор'ї, а з 2006–2007 гг. число «тепліх зим» в чорноморському регіоні різко зросло [7].

Висновки

Таким образом, в результаті шестилітніх моніторингових досліджень, встановлено, по крайній мірі, три причини появи і масового розвитку аллохтонного стенотермного прісноводно-солонатоводного виду *P. penardii* в Одеському заливі Чорного моря:

- сток Дніпровсько-Бугського лимана з комплексом видів прісноводного і прісноводно-солонатоводного генезису, трансформація його за рахунок вітрів південного і південно-східного напрямку;
- розповсюдження вод заливу в результаті обильних зимніх опадів;
- потрапляння цист виду в верхні шари морської води, в результаті зимніх штормів.

1. *Водоросли*, викликаючі «цвітіння» водойм северо-западу Росії. М.: КМК, 2006. — 367 с.
2. *Доценко С. А.* Мінливість основних гідрологічних характеристик Одеського регіону північно-західної частини Чорного моря. Автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.08 / С.А. Доценко; Одес. держ. екол. ун-т. — О., 2003. — 20 с.
3. *Крахма́льний А. Ф.* Динофітові водорослі України / А.Ф. Крахма́льний // К.: Альтерпрес. — 2011. — С. 444 с.
4. *Международный электронный каталог AlgaeBase* www.algaebase.org
5. *Нестерова Д. А.* Список видів фітопланктону / Д. А. Нестерова, Л. М. Теренько, Г. В. Теренько // Северо-западная часть Чорного моря: біологія і екологія / Під ред. Зайцева Ю.П., Александрова Б.Г., Миничевой Г.Г. — К.: Наук. думка. — 2006. — С. 557—576.
6. *Прошкина-Лавренко А. И.* Водорослі планктону Каспійського моря / А.И. Прошкина-Лавренко, И.В. Макарова. — Л.: Наука, 1968. — 290 с.
7. *Северо-западная часть Чорного моря: структура і кліматическі зміни океанологічних полів* / [Ю.И. Попов, А.С. Матыгин, Г.Ю. Коломейченко и др.]. — Одесса: издатель Букаев Вадим Викторович, 2016. — 440 с.
8. *Теренько Г. В.* Зимній фітопланктон Одеського заливу Чорного моря / Г. В. Теренько // Наук. зап. Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка, Серія: біологія. — 2015. — 3–4 (64). — С. 633—636.
9. *Теренько Л. М.* Динофлагелляти северо-западного Причорномор'я: видові різноманітність і екологія. Автореф. дис... канд. біол. наук. / Л.М. Теренько; Ін-т біол. южн. морей — С., 2005. — 23 с.

Г. В. Теренько

Український науковий центр екології моря

ДИНАМІКА ЦВІТІНЬ ПРІСНОВОДНО-СОЛОНУВАТОВОДНІЙ ДИНОФІТОВОЇ *PERIDINIOPSIS PENARDII* В ОДЕСЬКІЙ ЗАТОЦІ ЧОРНОГО МОРЯ (УКРАЇНА)

Досліджено перший випадок «цвітіння» води, викликаний прісноводно-солонатоводною динофітовою водорістю *Peridiniopsis penardii* (Lemmerm.) Bourg. 1968 в Одеській затоці Чорного моря. Аналізується динаміка «цвітіння» *P. penardii* протягом трьох років і обговорюються можливі причини цього явища. Отримані дані дозволяють розширити знання про екологію і ареали поширення виду. Встановлено, що *P. penardii* здатний існувати в широкому діапазоні солоності і вузькому діапазоні температур, є компонентом зимового фітопланктону та надає перевагу замкнутим акваторіям моря. Поява виду, можливо, є наслідком глобальних кліматических змін, зокрема, збільшенням числа «тепліх зим» в чорноморському регіоні за останні сім років.

Ключові слова: *Peridiniopsis penardii*, дінофлагелляти, «цвітіння» води, температура, солоність, зима, Одеська затока, Чорне море

G. V. Terenko

Ukrainian Scientific Centre of Ecology of the Sea, Ukraine

DYNAMICS OF FRESHWATER DINOFLAGELLATE *PERIDINIOPSIS PENARDII* IN ODESSA BAY OF THE BLACK SEA (UKRAINE)

The first case of water bloom caused by the freshwater and brackish dinoflagellate *Peridiniopsis penardii* (Lemmerm.) Bourr. 1968 in Odessa Bay of the Black Sea has been investigated. The dynamics of "blooms" of this species has been analyzed for three years and possible reasons for this phenomenon are discussed. So, in March 2011, the abundance of species in closed water areas made $1,29 \times 10^6$ cells·l⁻¹, biomass – $9,35$ g·m⁻³ at a temperature of $3,46$ °C sea water and salinity $7,44$ ‰. In winter 2015 *P. penardii* development was biphasic: in the closed water area the first outbreak of species occurred on January 21, with abundance $189,80 \times 10^3$ cells·l⁻¹ and biomass $1,34$ g·m⁻³, at a temperature of sea water $1,60$ °C and salinity $7,43$ ‰, the second – on February 25, with abundance $655,68 \times 10^3$ cells·l⁻¹ and biomass $4,60$ g·m⁻³, at a temperature of $2,00$ °C sea water and salinity of $12,98$ ‰. The third case of mass development of *P. penardii* was recorded on February 12, 2016, with the abundance $177,22 \times 10^3$ cells·l⁻¹ and biomass $2,55$ g·m⁻³ in closed water area, with sea water temperature $2,00$ °C and salinity $12,60$ ‰. These data expand the knowledge about the ecology and habitat distribution of the species. It was found out that *P. penardii* can exist in a wide range of salinity and a narrow temperature range. It is the component of winter phytoplankton; prefers closed water areas. The appearance of the species may be a consequence of global climate change, in particular, increasing the number of "warm winters" in the Black Sea region in the past seven years.

Key words: *Peridiniopsis penardii*, dinoflagellates, water bloom, temperature, salinity, winter, Odessa Bay, the Black Sea

Рекомендує до друку

В. З. Курант

Надійшла 02.02.2017