

УДК 574.632:582.232(262.5)

Б.Г. АЛЕКСАНДРОВ, Л.М. ТЕРЕНЬКО, Д.А. НЕСТЕРОВА

Одесский филиал Ин-та биологии южных морей НАН Украины,
ул. Пушкинская, 37, 65125 Одесса, Украина

ПЕРВЫЙ СЛУЧАЙ «ЦВЕТЕНИЯ» ВОДЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ ВОДОРОСЛЬЮ *NODULARIA SPUMIGENA* MERT. EX BORN ET FLAHAULT (*CYANOPROKARYOTA*)

Исследован первый случай «цветения» воды синезеленой водорослью *Nodularia spumigena* в Черном море. Максимальная численность вида в пятне «цветения» составляла $585,6 \cdot 10^6$ нитей $\cdot \text{л}^{-1}$, биомасса – $6,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Массовое развитие вида наблюдалось в середине июля 2010 г. при температуре морской воды $24,9\text{--}27^\circ\text{C}$ и солености $12,9\text{--}14,5 \text{ ‰}$. Анализируется динамика численности *N. spumigena* и сопутствующих видов фитопланктона. Обсуждаются возможные причины, вызвавшие «цветение».

Ключевые слова: *Nodularia spumigena*, *Cyanophyta*, *Cyanoprokaryota*, фитопланктон, «цветение», эвтрофирование, Черное море.

Введение

Нитчатая, гетероцитная цианобактерия (*Cyanoprokaryota*) *Nodularia spumigena* – широко распространенный эвригалинный вид. Род *Nodularia* Mertens ex Born et Flah. включает три морфологически отличающиеся планктонные вида: *N. spumigena*, *N. baltica* Komárek, Hübel et M. Hübel и *N. litorea* (Kütz.) Thur. ex Komárek, Hübel et M. Hübel. Однако генетический анализ фенотипических группировок *Nodularia* из Балтийского моря показал существование единственной планктонной формы *N. spumigena* (Barker et al., 2000). Вид встречается в планктоне опресненных морских акваторий (Водоросли ..., 2006) и является обычным возбудителем «цветения» воды в летний период в Балтийском (Mazur, Pliński, 2003; Jyźwiak et al., 2008), Азовском (Матишов, Фуштей, 2003) и Каспийском (Roohi et al., 2010) морях.

Установлено, что *N. spumigena* токсична для человека и животных (Кармайл, Чернаенко, 1992) и содержит гепатотоксичный циклический пентапептидный токсин – нодулярин, который оказывает негативное влияние на рыбу, ингибируя развитие икры, а также аккумулируется в моллюсках во время интенсивного развития этой водоросли. Но не все исследованные штаммы микроводоросли проявляют токсичность (Sivonen et al., 1989), которая зависит от ряда внешних факторов (Вершинин, Орлова, 2008).

Сведения о случаях «цветения» воды, обусловленных развитием *N. spumigena* в Черном море, в литературе отсутствуют. Ранее этот вид отмечался в незначительном количестве в северо-западной части Черного моря у берегов Украины (Северо-западная часть..., 2006), Болгарии (Black Sea ... Bulgaria, 1998) и Румынии (Black Sea ... Romania, 1998).

© Б.Г. Александров, Л.М. Теренько, Д.А. Нестерова, 2012

В работе описан первый случай «цветения» воды в Черном море, вызванный цианобактерией *N. spumigena*, проанализирована динамика численности фитопланктона, обсуждаются возможные причины интенсивного развития этого вида.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужили количественные пробы фитопланктона, собранные в период с 6 июля по 10 августа 2010 г. в Одесском заливе Черного моря в пределах 12 км прибрежной зоны, в устье Григорьевского и Тилигульского лиманов, а также в открытой части северо-западного района моря (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема отбора проб *Nodularia spumigena* в северо-западной части Черного моря

Всего с поверхностного горизонта было отобрано 25 проб. Параллельно с отбором проб измеряли температуру и соленость морской воды, содержание в ней минеральных форм азота и фосфора. Пробы фитопланктона обрабатывали в «живом» состоянии, а затем фиксировали 40-ным нейтрализованным формалином в соотношении 1:10 для последующих дополнительных исследований. В зависимости от обилия микроводорослей учет их численности вели как в неконцентрированных, так и в сгущенных пробах. С этой целью применяли метод обратной фильтрации с использованием нуклеопоровых фильтров с диаметром пор 2 мкм. Подсчет нитей *N. spumigena* проводили под световым микроскопом при увеличении $\times 200$ в счетной камере объемом 0,05 мл. Вариабельность длины нитей *N. spumigena* составляла от

сотен до нескольких тысяч микрон, что создавало трудности при их подсчете, в связи с чем была использована методика HELCOM (2003). При этом нити *Nodularia* условно разделяли на части равные 100 мкм, а затем пересчитывали их численность на 1 л воды. Для расчета биомассы форму нитей приравнивали к цилиндру, измеряли их ширину и определяли объем. Таким образом, средний объем нити *Nodularia* 100 мкм дл. составлял 10560 мкм³. Субдоминирующие виды фитопланктона подсчитывали по общепринятой методике.

Результаты

Морфологические характеристики *N. spumigena* в районе исследований в целом не отличались от описанного ранее диагноза (Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968; Cronberg, Appadotter, 2006). Нити одиночные, прямые, изогнутые, правильно или неправильно спиралевидно закрученные, 9–12 мкм шир. Ширина некоторых из них составляла 14,5 мкм, что превышало данные, указанные в литературе, однако преобладали трихомы 10 мкм шир. (рис. 2). Вегетативные клетки диско-видно-цилиндрические или короткобочковидные, 8,1–8,3 мкм шир. (иногда до 9 мкм) и 3–5 мкм дл., нередко с аэротопами. Конечные клетки закругленные. Гетероцисты интеркалярные, более или менее равномерно расположенные по всей длине трихома между его вегетативными клетками, желтого цвета, имели плотную оболочку и были несколько шире вегетативных клеток, 8,1–10,5 мкм шир. (иногда до 14 мкм), 7 мкм дл. Акинеты овальные, 10–12 мкм шир. и 6–11 мкм дл., с гладкой коричневой оболочкой, расположены рядами, редко одиночно или парами.

В небольших количествах нити *N. spumigena* у побережья Одессы были обнаружены в первых числах июля 2010 г., а 12 июля на водной поверхности отмечены пятна серо-желтого цвета протяженностью 2–3 мили (рис. 2, а). За период наблюдений численность *N. spumigena* варьировала от 6,2 тыс. до 22,6 млн нитей длиной 100 мкм на 1 л воды. Массовое развитие вида, достигающее силы «цветения», отмечено с 7 по 12 июля при солености воды 12,9–14,5 ‰ и температуре 24,9–27 °С. В этот период в акватории, расположенной между устьем Григорьевского лимана и Одесским портом, наблюдалось пятно «цветения» *Nodularia* 24 км дл. и 4–5 км шир. Второе пятно размером около 4 км отмечено в прибрежной зоне Одесского залива между мысами Малый и Большой Фонтан в поверхностном слое воды. Максимальная численность *N. spumigena* в пятне «цветения» отмечена 12 июля 2010 г. и составила $585,6 \cdot 10^6$ нитей \cdot л⁻¹, биомасса — $6,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Столь высокие концентрации микроводорослей впервые наблюдались в Черном море.

Согласно исследованиям, проведенным в 90-е годы XX ст., максимальная биомасса фитопланктона $1,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ была отмечена в северо-западной части Черного моря во время «цветения» крупноразмерных диатомовых водорослей *Cerataulina pelagica* (Cl.) Hendeу и *Rhizosolenia fragilissima* Bergon. (Георгиева, Сеничкина, 1996). Диапазон предельных

значений развития синезеленых водорослей ($5\text{--}7\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$) зарегистрирован в каскаде Днепровских водохранилищ (Брагинский и др., 1968).

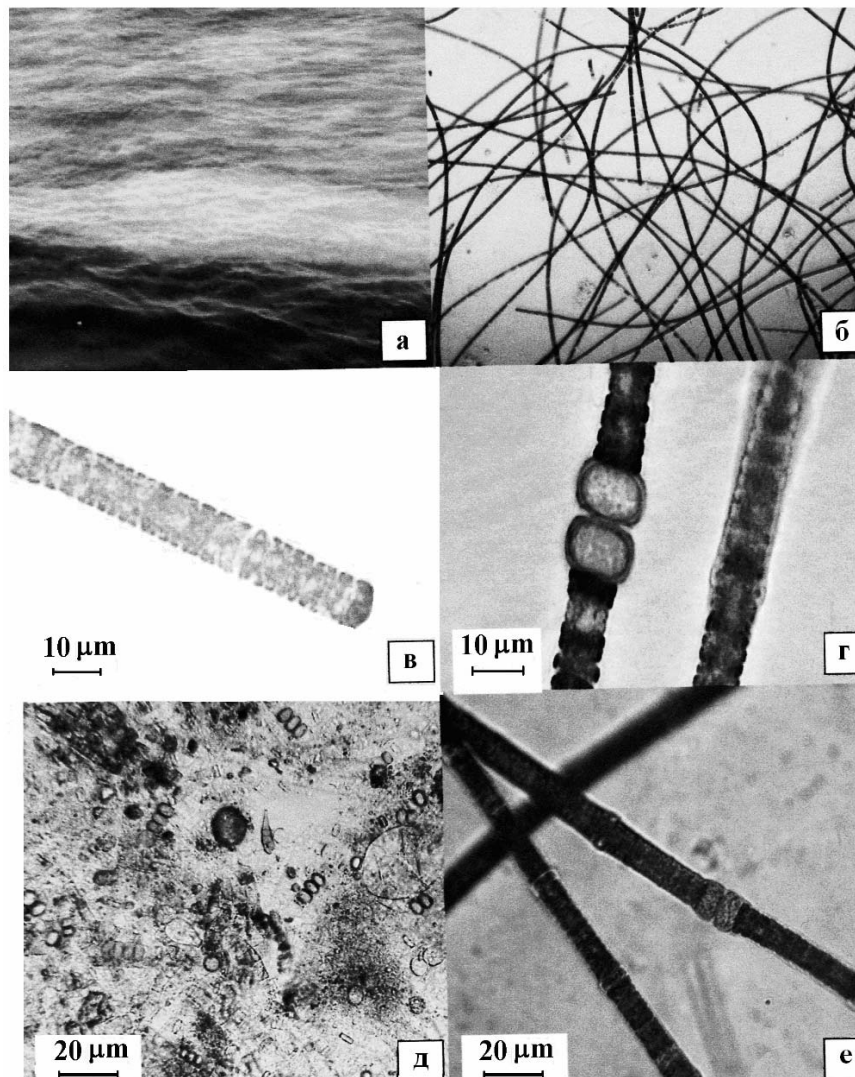


Рис. 2. «Цветение» *Nodularia spumigena* в северо-западной части Черного моря: *a* – пятно «цветения» на морской поверхности; *б* – скопления нитей/трихомов в пятне «цветения»; *в* – конечные клетки нити; *г*, *е* – фрагмент трихома с гетероцистами; *д* – полуразложившиеся нити со зрелыми акинетами (спорами). СМ

«Цветением» *N. spumigena* разной силы была охвачена вся прибрежная зона в черте одесских пляжей. Так, 12 июля 2010 г. на порядок меньшая численность ($22,6\cdot 10^6$ нитей $\cdot\text{л}^{-1}$) и биомасса ($238,7\text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$) отмечены в районе мыса Малый Фонтан. По мере удаления от пятна скопления *N. spumigena* интенсивность её развития постепенно уменьшалась,

составляя в районе 16 станции Большого Фонтана $11,7 \cdot 10^6$ нитей·л⁻¹, биомасса — $123,4 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$. В отдельные дни площадь пятен уменьшалась и «цветение» воды не регистрировалось. Последующие наблюдения показали, что в связи с изменившимися гидрологическими условиями пятно «цветения» из прибрежной зоны переместилось в открытую часть моря, где численность *N. spumigena* составила $14 \cdot 10^6$ нитей·л⁻¹.

Пространственные характеристики формирования и распространения «цветения» воды на северо-западном шельфе хорошо прослеживаются по спутниковым снимкам MODIS Aqua. Начальная фаза «цветения» была отмечена 2–4 июля и охватывала прибрежную часть Одесского региона между Днепровско-Бугским и Днестровским лиманами (рис. 3, а). К 12 июля «цветение» с характерными полосами различной интенсивности отмечалось практически на всей акватории северо-западного шельфа Черного моря (рис. 3, б, в). Область «цветения» 14 июля была несколько удалена от западного побережья и охватывала всю центральную часть северо-западного шельфа (рис. 3, г).

Во время интенсивного развития *Nodularia* видовой состав субдоминантных видов и их численность в разных районах несколько отличались. В этот период в составе фитопланктона встречались диатомовые *Chaetoceros affinis* Laud., *C. peruvianus* Brightw., *C. curvisetus* Cleve, *Thalassionema nitzschioides* Grunow, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl., *Pseudonitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden et Koble, *Nitzschia closterium* (Ehrenb.) W. Sm., динофитовые *Prorocentrum micans* Ehrenb., *P. compressum* (Bailey) Abe ex Dodge, *Ceratium furca* (Ehrenb.) Clap. et Lachm., *Heterocapsa triquetra* (Ehrenb.) Stein, *Gonyaulax scrippsae* Kof., *Katodinium fungiforme* (Anisimova) Loeb., зеленые *Pterosperma cristatum* Schill. и синезеленые *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Gréb. Их вклад в образование общей численности и биомассы был невысоким и находился в прямой зависимости от интенсивности развития *N. spumigena*. Так, на разных этапах «цветения» *N. spumigena* её вклад в общую численность фитопланктона колебался от 19,8 до 99,7 %. В пятне «цветения» при её максимально высокой плотности наблюдались в большом количестве агрегаты пустых створок *T. nitzschioides* и *P. micans*. Известно, что интенсивное развитие синезеленых оказывает негативное влияние на формирование фитоценозов микроводорослей (Сиренко, Гавриленко, 1978).

В целом уровень количественного развития фитопланктона в исследуемом районе в течение всего времени наблюдений был высоким. Его общая численность колебалась от $1,9 \cdot 10^6$ до $33,0 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹. Невысокая численность *N. spumigena* в Одесском заливе ($8 \cdot 10^3$ нитей·л⁻¹) отмечена в начале июля при доминировании диатомовых водорослей, суммарная численность которых достигала 65,6 % общей численности всего фитопланктона. В этот период в прибрежной зоне моря происходило «цветение» воды, вызванное развитием *T. nitzschioides*, численность которой составляла $1 \cdot 10^6$ кл л⁻¹.

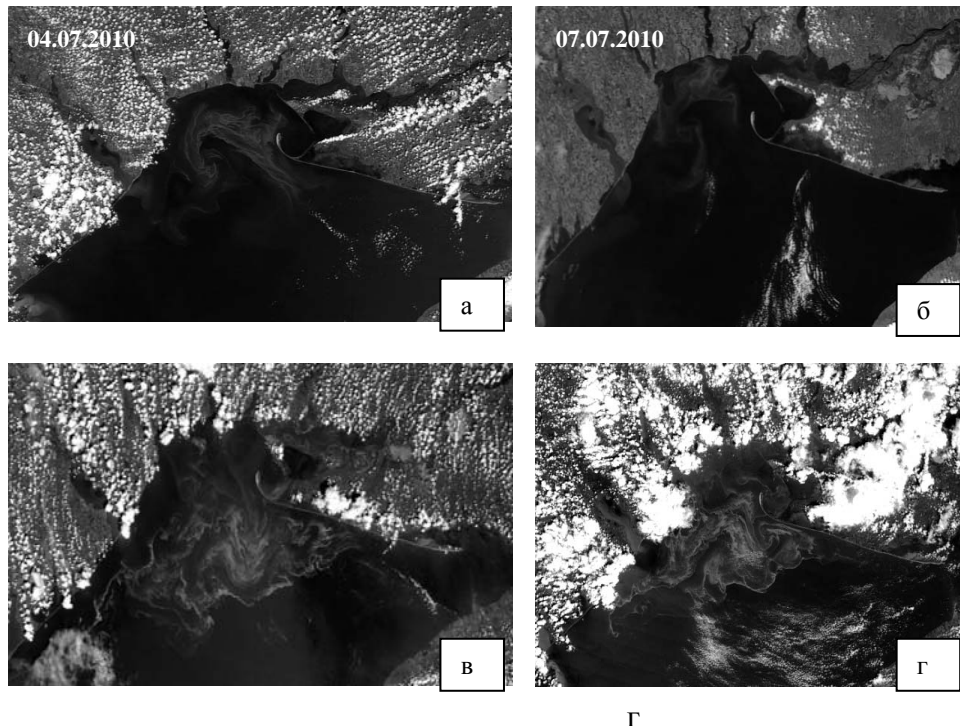


Рис. 3. Спутниковые снимки «цветения» *Nodularia spumigena* в Черном море

При увеличении численности *N. spumigena* вклад в общую численность фитопланктона диатомовых водорослей снижался, и наоборот, при уменьшении численности *N. spumigena* наблюдалось доминирование диатомовых (60 %) и золотистых (36,6 %) водорослей. Так, в прибрежной зоне Одесского залива при невысокой численности $6,2 \cdot 10^3$ нитей·л⁻¹ *N. spumigena* доминировала *Emiliania huxleyi* (Lohm.) Hay et Mohler, численность которой составляла $0,7 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹. У устьев Тилигульского и Григорьевского лиманов численность *N. spumigena* была невысокой — $20 \cdot 10^3$ и $29 \cdot 10^3$ нитей·л⁻¹ соответственно. В устье Тилигульского лимана в составе фитопланктона доминировал комплекс нитчатых синезеленых водорослей *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Anabaena flos-aquae* Lingb. (Bréb.), *Oscillatoria kisselevii* Anisimova, *Spirulina laxissima* G.S. West. и колониальных одноклеточных *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. Здесь их вклад составил 89 % общей численности фитопланктона. В устье Григорьевского лимана «цветение» воды формировала *T. nitzschoides*, численность которой была в 2 раза выше, чем в Одесском заливе ($3,8 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹). Во время «цветения» *Nodularia* вклад динофлагеллят был незначительным — 0,1–5,1 % общей численности фитопланктона.

В конце июля стали отчетливо проявляться признаки отмирания или «старения» *N. spumigena*, когда на морской поверхности в массе встречались крупные ее скопления сбитых в серо-белые комки нитей.

Анализ проб фитопланктона, собранного у устья Днестровского лимана, показал, что обнаруженные комки состоят из скрученных нитей *N. spumigena*, находящихся в состоянии лизиса, количественный учет которых оказался невозможным. Среди них встречались как хорошо пигментированные «живые» нити, так и отмирающие, с многочисленными пустыми клетками. Так, численность отдельных свободноплавающих нитей *N. spumigena* составила $6,5 \cdot 10^6$ на 1 л воды. На долю «живых» нитей приходилось всего 25,3 % их общего числа. Большую часть популяции *N. spumigena* составляли частично отмирающие (73,4 %) и пустые нити (1,3 %). В этом районе моря (одновременно с *N. spumigena*) наблюдалось также «цветение», вызванное развитием диатомовых: солонатоводной *Nitzschia closterium* (Ehrenb.) W. Sm. ($22,4 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹) и пресноводной *N. paleacea* (Grunow) Perag. ($2 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹). Численность *N. closterium* в пятне «цветения» оказалась выше, чем ранее указывалось ($16 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹) для открытых районов северо-западной части Черного моря (Северо-западная ..., 2006), а вспышка развития *N. paleacea*, достигавшая уровня «цветения», прежде не отмечалась. Во время «цветения» нитчатых синезеленых в Финском заливе (*N. spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena* spp.) наблюдалось обрастание нитей *Nodularia* эпифитной диатомовой *N. paleacea* (Airola et al., 2007). В составе фитопланктона устьевой области Днестровского лимана многочисленными были также пресноводные диатомовые *Aulacoseira granulata* (Ehrenb.) Sim., *Nitzschia vermicularis* (Kütz.) Hantken и зеленая водоросль *Binuclearia lauterbornii* (Schmidle) Pr.-Lavr.

Обсуждение

Было высказано предположение о проникновении *Nodularia* в Черное море с балластными водами судов из Балтийского моря. Морфометрический анализ нитей *Nodularia*, найденных в Черном море, показал, что по своим размерным характеристикам они близки к *N. baltica* (клетки 8–12 мкм шир.). Но официальные запросы, направленные в Ильичевский, Одесский и Южный порты, о разгрузке судов из Балтийского моря в период с 1 июня по 15 авг. 2010 г. не подтвердили это предположение.

На протяжении всего периода исследования общая численность фитопланктона на всех станциях колебалась от $1,9 \cdot 10^6$ до $587,2 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹ и достигала предельных величин, установленных для фитопланктона прибрежных морских вод. Столь высокие концентрации водорослей впервые отмечены в прибрежных водах северо-западной части Черного моря и соответствовали экстремально-эвтрофному типу. Максимальная численность микроводорослей, указанная ранее для северо-западной части, составляла $220 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹ для диатомовых, $224 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹ для динофитовых

и $147 \cdot 10^6$ кл·л⁻¹ для синезеленых (Георгиева, Сеничкина, 1996; Нестерова, 2001).

Согласно распространенным представлениям (Гусева, 1952; Сиренко и др., 1978; Paerl, 1988; Elser, 1999), «цветение» воды, вызванное определенными видами нитчатых и колониальных синезеленых водорослей, возникает при наличии комплекса благоприятных физических, химических и биотических условий для их развития. Некоторые авторы связывают возникновение «цветения» синезеленых с повышением температуры поверхностной воды (> 20 °С) и сильной вертикальной стратификацией (Huenstrand et al., 1998). Согласно литературным данным (Moisander, Paerl, 2000), *Nodularia* из Балтийского моря может расти и развиваться в широком диапазоне солености – от 0 до более 30 ‰.

Рассматривая возможные причины «цветения» воды, вызванного *N. spumigena*, прежде всего отметим специфические гидрологические условия, которые создались в летнее время в исследуемом районе моря. Годовой объем стока р. Дунай в 2010 г. составил 299 км³ (данные Дунайской гидролого-метеорологической лаборатории в г. Измаиле), что является третьим по величине максимумом, наблюдавшимся с 1920 г. Первые два были зарегистрированы в 1940 и 1941 гг. (Николаенко, Решетников, 1991). Максимальное превышение объема стока, по сравнению со средним уровнем за последние 30 лет, было отмечено в июле, когда превышение достигло 1,9-кратного уровня (рис. 4).

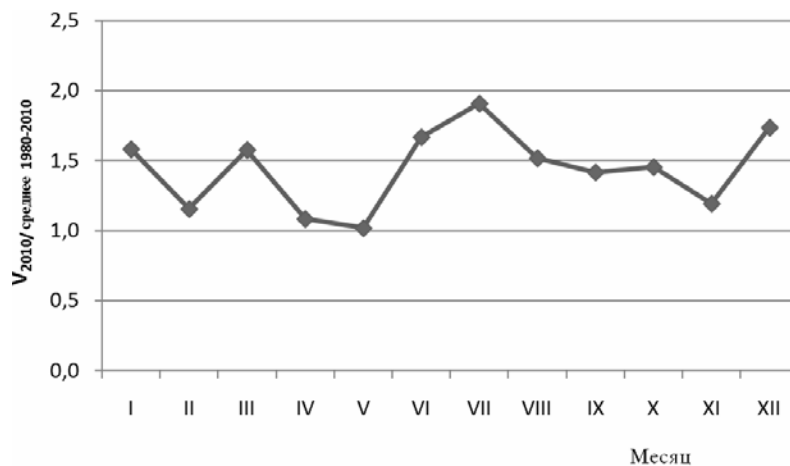


Рис. 4. Динамика соотношения уровня речного стока (*V*) р. Дунай в 2010 г. и его среднего значения за период 1980–2010 гг.

Таким образом, максимальное опреснение воды в северо-западной части Черного моря только за счет стока Дуная, на долю которого приходится 36 % приходной составляющей пресной воды (Николаенко, Решетников, 1991), в 2010 г. наблюдалось в июле. По своему абсолют-

ному значению объем пресноводного стока приблизился к предельному за последние 90 лет.

По данным Морской геофиз. лаб. Одесского гос. экол. ун-та, июль 2010 г. в Одесском заливе характеризовался необычно высокой температурой и низкой соленостью поверхностного слоя воды (рис. 5). В период отбора проб фитопланктона с 6 по 27 июля 2010 г. в прибрежной зоне Одесского залива при штилевой погоде наблюдалась максимально высокая температура (24,9–27 °С) и низкая соленость (13,74–14,48 ‰) морской воды. За последние 30 лет средняя температура воды в первой половине июля у Одесского побережья возросла почти на 2 °С, достигнув в начале июля 2010 г. значения 24,9 °С, близкого к максимальному за этот период. В это же время выпало 206 % нормы атмосферных осадков (<http://pogoda.ru.net/monitor.php>).

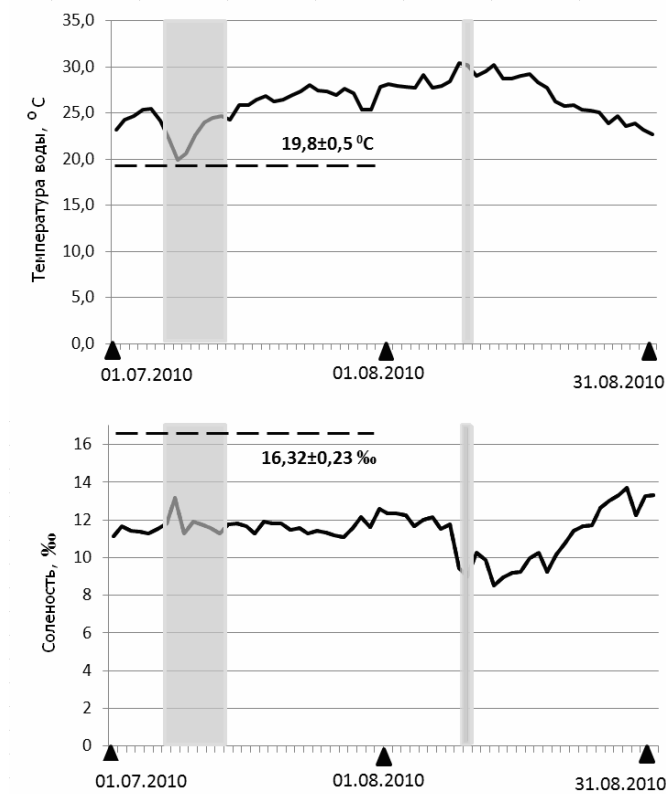


Рис. 5. Гидрологическая характеристика поверхностного слоя морской воды Одесского залива в июле-августе 2010 г. Периоды «цветения» *Nodularia spumigena* обозначены серым цветом, пунктиром – средний уровень температуры морской воды и солености в июле в Одесском заливе (Большаков, 1967).

По сравнению со среднемноголетними данными гидролого-метеорологической станции «Одесса-порт» (Большаков, 1967), темпера-

тура воды превышала средний многолетний уровень на 5,5 °С, а соленость была ниже на 4,69 ‰. Максимуму развития нодулярии предшествовало резкое изменение солености и температуры в поверхностном слое воды. «Цветению» воды, вызванному нодулярией, 6–13 июля и 10 авг. способствовало изменение солености и температуры со скоростью 0,62–1,37 °С · сут⁻¹ и 0,64–1,39 ‰ · сут⁻¹ соответственно. Таким образом, температура морской воды, при которой было зарегистрировано интенсивное развитие *N. sputigena*, составляла 19,9–30,2 °С, соленость – 8,98–13,19 ‰ (см. рис. 5).

Таблица

Биомасса *Nodularia sputigena* и концентрация биогенных элементов в северо-западной части Черного моря в 2010 г.

Номер	Дата	Район исследований	Биомасса <i>Nodularia</i>		Биогены, мг/л **		Z_{\min}/P_{\min}
			мг·м ⁻³	% *	N _{min}	P _{min}	
3	06.07.	Одесский залив	7842	58,2	0,213	0,023	9,3
2	07.07.	Григорьевский лиман (порт Южный)	35358	96,4			
2	10.07.	Устье Григорьевского лимана	306	6,7	0,113	0,043	2,6
5	11.07.	Одесский залив	123363	97,4	1,037	0,117	8,9
4	12.07.	Одесский залив	238724	100,4	0,682	0,040	17,1
4	12.07.	Одесский залив (макс. концентрация)	6185691	99,7			
3	13.07.	Одесский залив	1235	34,4	0,106	0,018	5,9
3	20.07.	Одесский залив	0	0,4	0,070	0,016	4,4
7	23.07.	12 миль в р-не Будацкого лимана	147882	99,3			
3	27.07.	Одесский залив	0	0,1	0,092	0,010	9,2
1	27.07.	Устье Тилигульского лимана	211	0,4	0,129	0,015	8,6
6	30.07.	Устье Днестровского лимана	69082	100,0	0,340	5,460	0,1
3	03.08.	Одесский залив	54	4,3	0,074	0,039	1,9
3	10.08.	Одесский залив	57873	80,2	0,179	0,135	1,3

*Процент тотального фитопланктона; **минеральные формы биогенных элементов (данные Гос. экол. инспекции по охране окружающей среды Северо-Зап. региона Черного моря, Одесского филиала ИНБЮМ НАН Украины).

Соотношение азота и фосфора часто используют в качестве критерия доминирования синезеленых водорослей. Так, Смит В. (Smith, 1990) показал, что синезеленые водоросли имеют тенденцию к доминированию в водоемах, в которых соотношение концентраций общего азота к общему фосфору составляет около 15 и ниже. Данная тенденция объясняется способностью синезеленых, в частности *Nodularia*, к азотфиксации, что позволяет им доминировать даже в водоемах с низким содержанием азота. Характерно, что пик «цветения» нодулярии проходил при соотношении минеральных форм азота и фосфора в диапазоне, близком к указанной величине (< 15) – 9–17 (см. таблицу).

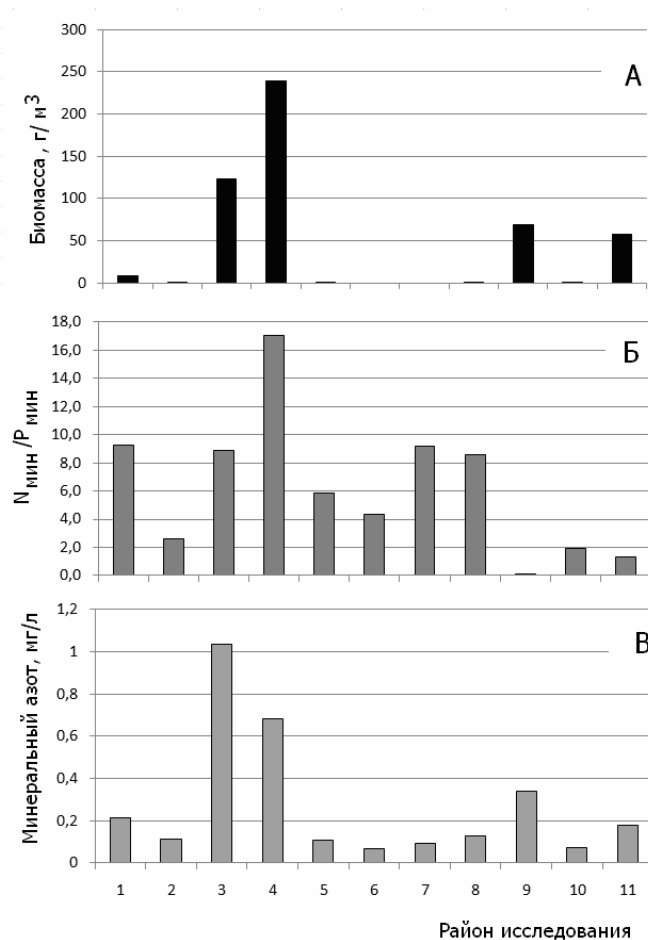


Рис. 6. Связь биомассы *Nodularia spumigena* (A) с содержанием в воде биогенных веществ. Б – соотношение содержания минерального азота и фосфора; В – содержание минерального азота. Исходные данные представлены в таблице.

Пусковым (триггерным) механизмом, стимулирующим развитие *N. spumigena*, стала высокая скорость изменения гидрологических усло-

вий от их среднего уровня ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $S = 11,5\text{ ‰}$) как в прямом, так и обратном направлении, а также изменение соотношения биогенных веществ в сторону увеличения минеральных форм азота (рис. 6).

Таким образом, вероятной причиной аномального «цветения» *N. spumigena* в Черном море стало сочетание пониженной солености морской воды, ее высокая температура, штилевые условия, а также обилие минеральных и растворенных органических веществ, связанное с речным стоком и большим объемом атмосферных осадков. Тем не менее, наличие одного из этих факторов в отдельности или в сочетании с другими не дает возможности точно предсказать возникновение «цветения» в водоеме.

Выражаем благодарность Е.Г. Патлатюку (зав. лаб. аналит. контроля и мониторинга окружающей среды Гос. экол. инспекции по охране окружающей среды Северо-Зап. региона Черного моря), Ю.И. Богатовой и А.Ю. Гончарову (ст. науч. сотр. Одес. филиала ИНБЮМ НАН Украины), В.Н. Морозову (директору Дунайской гидрометеоролог. лаб., г. Измаил) и Э.Б. Краснодемскому (зав. Морской геофиз. лаб. Одес. гос. экологического ун-та) за предоставленные данные о состоянии окружающей среды в исследованном регионе.

- Большаков В.С. Гидрологический очерк // Биология северо-западной части Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1967. – С. 14–31.
- Брагинский Л.П., Береза В.Д., Величко И.М. и др. «Пятна цветения», нагонные массы, выбросы синезеленых водорослей и происходящие в них биологические процессы // «Цветение» воды. – Киев: Наук. думка, 1968. – Вып. 1. – С. 92–150.
- Вершинин А.О., Орлова Т.Ю. Токсичные и вредные водоросли в прибрежных водах России // Океанология. – 2008. – **48**, № 4. – С. 568–582.
- Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. – М.: Наука, 2006. – 367 с.
- Георгиева Л.В., Сеничкина Л.Г. Фитопланктон Черного моря: современное состояние и перспективы исследований // Экол. моря. – 1996. – Вып. 45. – С. 6–13.
- Гусева К.А. «Цветение» воды, его причины, прогноз и меры борьбы с ним // Тр. Всесоюз. гидробиол. об-ва. – 1952. – **4**. – С. 3–92.
- Кармайкл В.В., Чернаенко В.М. Токсины синезеленых водорослей (цианобактерий) // Усп. соврем. биол. – 1992. – **112**, № 2. – С. 216–224.
- Матишов Г.Г., Фуштей Т.В. К проблеме вредоносных «цветений воды» в Азовском море / Электрон. журн. «Исследовано в России». <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/022>. – С. 213–225.
- Нестерова Д.А. «Цветение» воды в северо-западной части Чёрного моря (Обзор) // Альгология. – 2001. – **11**, № 4. – С. 502–513.
- Николаенко А.В., Решетников В.И. Исследование долгосрочных изменений баланса пресной воды в Черном море // Вод. рес. – 1991. – № 1. – С. 20–28.

- Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В. Водоросли планктона Каспийского моря. — Л.: Наука, 1968. — 291 с.
- Северо-западная часть Черного моря: биология и экология. — Киев: Наук. думка, 2006. — 701 с.
- Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и эвтрофирование. — Киев: Наук. думка, 1978. — 232 с.
- Airola J., Hällfors S., Hällfors M. Blue-green algal blooms / Baltic Sea Portal. http://www.itameriportaali.fi/en/ajankohtaista/mtl_uutisarkisto/2007.
- Barker G., Handley B., Vacharapiyasophon P., Stephens J., Hayes P. Allele specific PCR shows that genetic exchange occurs among genetically diverse *Nodularia* (Cyanobacteria) filaments in the Baltic Sea // Microbiology. — 2000. — **146**. — P. 2865–2875.
- Black Sea Biological Diversity. Bulgaria / Comp. A. Konsulov // Black Sea Environ. Ser. — New York, 1998. — Vol. 5. — 131 p.
- Black Sea Biological Diversity. Romania / Comp. A. Petranu // Black Sea Environ. Ser. — New York, 1998. — Vol. 4. — 314 p.
- Cronberg G., Annadotter H. Manual on aquatic cyanobacteria: A photo guide and synopsis of their toxicology. Denmark Intern. Soc. Study of Harmful Algae and Unit. Nat. Educat., Sci. and Cult. Org. — 2006. — 105 p.
- Elser J.J. The pathway to noxious cyanobacteria blooms in lakes: the food web as the final turn // Freshwat. Biol. — 1999. — **42**. — P. 537–543.
- Hyenstrand P., Blomqvist P., Petterson A. Factors determining cyanobacterial success in aquatic systems — a literature review // Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol. — 1998. — **51**. — P. 41–62.
- Jyżwiak T., Mazur-Marzec H., Pliński M. Cyanobacterial blooms in the Gulf of Gdańsk (southern Baltic): the main effect of eutrophication // J. Oceanol. Hydrobiol. Stud. — 2008. — **37**, N 4. — P. 115–121.
- Mazur H., Pliński M. *Nodularia spumigena* blooms and the occurrence of hepatotoxin in the Gulf of Gdańsk // Oceanologia. — 2003. — **45**, N 1. — P. 305–316.
- Moisander P.H., Paerl H.W. Growth, primary productivity and nitrogen fixation potential of *Nodularia* spp. (Cyanophyceae) in water from a subtropical estuary in the United States // J. Phycol. — 2000. — **36**. — P. 645–658.
- Pearl H.W. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (Cyanobacteria). — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1988. — P. 261–316.
- Report of the ICES/HELCOM Steering Group on Quality Assurance of Biological Measurements in the Baltic Sea ICES Headquarters. — Copenhagen, 25–28 Feb., 2003. — 69 p.
- Roohi A., Kideys A., Sajjadi A. et al. Changes in biodiversity of phytoplankton, zooplankton, fishes and macrobenthos in the Southern Caspian Sea after the invasion of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* // Biol. Invas. — 2010. — **12**, N 7. — P. 2343–2361.
- Sivonen K., Kononen K., Carmichael W.W. Occurrence of the Hepatotoxic Cyanobacterium *Nodularia spumigena* in the Baltic Sea and Structure of the Toxin. Appl. Environ. Microbiol. — 1989. — **55**, N 8. — P. 1990–1995.
- Smith V.H. Nitrogen, phosphorus and nitrogen fixation in lacustrine and estuarine ecosystems // Limnol. Oceanogr. — 1990. — **35**. — P. 1852–1859.

Получена 20.05.11

Рекомендовал к печати П.М. Царенко

B.G. Alexandrov, L.M. Terenko, D.A. Nesterova

Odessa Branch of A.O. Kovalevsky Inst. of Biology of the Southern Seas, NAS of Ukraine,
37, Pushkinskaya St., 65125 Odessa, Ukraine

THE FIRST CASE OF A WATER BLOOM BY *NODULARIA SPUMIGENA* MERT. EX
BORN. ET FLAH. (*CYANOPHYTA*) IN THE BLACK SEA

The first case of a water bloom caused by cyanobacteria of *Nodularia spumigena* in the Black Sea has been studied. The maximum abundance of the species in the bloom patch was $585.6 \cdot 10^6$ of filaments per L^{-1} , biomass – $6.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Mass development of the species was observed in mid July 2010 at 24.9–27.0 sea water temperature and 12.9–14.5 salinity. The dynamics of the abundance of *N. spumigena* and accompanying phytoplankton species has been analyzed. Possible reasons for the bloom of microalgae have been discussed.

Keywords: *Nodularia spumigena*, *Cyanophyta*, *Cyanoprokaryota*, phytoplankton, blooming, eutrophication, Black Sea.