ВРЕДНОСНЫЕ МИКРОВОДОРОСЛИ КАК БИОИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ИМПАКТНЫХ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Л. И. Рябушко, В. И. Рябушко

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, РФ,
larisa.ryabushko@yandex.ru

Представлен анализ современного состояния проблемы «вредоносных цветений водорослей» в Азово-Черноморском бассейне. Показано, что эти водоросли обитают как в Чёрном (около 80 таксонов), так и Азовском морях (65), в т. ч. 40 потенциально токсичных видов указано для заповедных акваторий Крыма. Около 50 % видов относится к возбудителям «цветения» воды и «красных приливов» в море. Обсуждаются вопросы, связанные с изучением потенциально токсичных водорослей в южных морях России.

Ключевые слова: микроводоросли, токсичные виды, «цветение», «красные приливы», Азовское и Чёрное моря

Межправительственная океанографическая комиссия приняла программу «Глобальная экология и океанография «вредоносных цветений водорослей» (Harmful Algae Bloom – НАВ) в 2001 г. [1]. О глобальности распространения указанных микроводорослей (МВ) свидетельствует тот факт, что в морях Мирового океана отмечено более 200 видов-возбудителей «цветения» воды, из них 20 % вызывают токсичные «красные приливы», что требует мониторинга НАВ [2–5]. Для Азово-Черноморского бассейна существование этой проблемы обосновано в ИнБЮМ НАНУ (ныне ИМБИ РАН) в 2 монографических обобщениях [6, 7]. Обзор литературных источников свидетельствует о том, что данная проблема является актуальной не только за рубежом, но и для морей России, в частности для крымского побережья Чёрного и Азовского морей. Следует отметить, что для каждого вида МВ имеется индивидуальный температурный диапазон и свои экологические условия обитания. Учитывая особенности биологии и пищевой стратегии каждого вида, можно наблюдать разнообразные черты проявления их вредоносного и токсичного влияния на биоту и здоровье человека.

Массовое развитие НАВ наблюдается чаще всего в районах антропогенного загрязнения и марихозийств по культивированию водорослей и моллюсков. Ядовитые МВ при определенных экологических, климатических, техногенных и других благоприятных условиях достигают массового развития и затрудняют эксплуатацию морских биологических ресурсов, нанося экономический ущерб рыбной промышленности и аквакультуре. Имеются сообщения о более чем 2000 фактах отравления людей различными токсинами морского происхождения, и указано несколько сотен случаев с фатальным исходом [1, 6]. Однако фактическое количество заболеваний по этой причине недооценено вследствие неправильно поставленных диагнозов либо из-за удалённости мест проживания людей (им не успевают своевременно оказать помощь или они не могут или не хотят обращаться за медицинской помощью). Особенно это характерно для побережий Чёрного и Азовского морей, поскольку здесь нет специальных служб мониторинга за видами НАВ.

Токсичные виды МВ обнаружены в разных систематических группах. По данным инвентаризации, в Чёрном море выявлено около 80 таксонов вредоносных МВ, Азовском море – 65, в т. ч. в заповедных акваториях Крыма отмечено 40 потенциально

токсичных видов, способных продуцировать биотоксины, представленные 6 отделами: Cyanoprokaryota (5 видов), Raphidophyta (3), Dinophyta (25), Haptophyta (2), Ochrophyta (1), Bacillariophyta (4) [6–9]. Здесь встречается около 50 % видов-возбудителей «цветения» и «красных приливов» в море. Ранее существовало мнение, что в Чёрном море токсичные МВ отсутствуют или они не обладают токсичностью. Однако в культурах черноморского клона диатомовой водоросли *Pseudo-nitzschia calliantha* из крымских вод близ Севастополя впервые была выделена домоевая кислота, концентрация которой варьировала от 0,08 до 1,3 $\mu\text{г}\cdot\text{кл}^{-1}$ [12, 13]. Опасность отравления токсином, вызывающим амнезийное моллюсковое отравление (ASP), в большей степени угрожает людям, употребляющим в пищу морепродукты, чем самим культивируемым беспозвоночным. Однако у берегов Санта-Круз (Калифорния) из-за интоксикации от токсина, продуцируемого диатомовыми водорослями рода *Pseudo-nitzschia*, во время «цветения» воды отмечены случаи гибели пеликанов, бакланов и морских львов [14, 15].

В Азовском и Чёрном морях встречаются гаптофитовые водоросли *Prymnesium parvum* и *Phaeocystis pouchetii*, которые являются чрезвычайно токсичными и опасными для морской биоты [6, 16]. Другой вид – *Emiliania huxleyi* – возбудитель «цветения» воды, хотя и не токсичный, но численность его в Карадагском заповеднике в 2012 г. достигала 1 млн $\text{кл}\cdot\text{л}^{-1}$, в 2013 г. – до 6 млн $\text{кл}\cdot\text{л}^{-1}$, и «цветение» воды наблюдалось вдоль крымского побережья Чёрного моря, включая заповедные акватории Крыма [9]. В эвтрофных же районах румынского побережья в 1993 г. максимальная его численность составляла 291,2 млн $\text{кл}\cdot\text{л}^{-1}$ [17]. В целом гаптофитовые водоросли широко встречаются как в океанах, так и побережье морей. Они продуцируют большое количество карбоната кальция, образуя иногда макроагрегаты или “white water”, влияющие на оптические, температурные и биогеохимические свойства океанических поверхностных вод, и оказывают негативное влияние на донные организмы [18, 19].

Из токсичных цианобактерий отмечены *Aphanizomenon flos-aquae*, впервые указанный П. И. Усачёвым в фитопланктоне Азовского моря [20], *Nodularia spumigena* и *Microcystis aeruginosa*, обнаруженные А. А. Остроумовым соответственно в 1891 и 1896 гг. [21, 22], позже виды были указаны в разных районах моря многими авторами, в т. ч. последний вид найден в микрофитобентосе Казантипского заповедника [8]. Эти виды обладают сильнодействующими эндотоксинами, вызывающими отравление рыб и быструю смерть человека, обычно встречаются в открытых и прибрежных водах, особенно в лиманах, бухтах и заливах [6, 7].

Наиболее распространёнными и особо токсичными в южных морях являются динофитовые рода *Prorocentrum* (*P. balticum*, *P. lima*, *P. micans*, *P. minimum*), обладающие токсином акадаевой кислоты, который вызывает у человека диаретическое моллюсковое (DSP) и сигуатерное рыбное (CFP) отравления [1, 11].

В настоящее время по-прежнему недооценивается ситуация НАВ в морях России, поскольку нет специальных служб, контролирующих вредоносные явления МВ, в т. ч. и в Азово-Черноморском бассейне. Однако для того, чтобы минимизировать риск отравления морепродуктами и экономических потерь из-за смертности промысловых гидробионтов (рыбы и беспозвоночных), необходимо создать государственную Службу слежения за негативными явлениями, вызванными вредоносными водорослями. Так, благодаря инициативе учёных ИБМ ДВО РАН, в г. Владивостоке создан Центр по изучению токсичных видов фитопланктона и микрофитобентоса, регулярно осуществляет их биомониторинг в научных целях.

Приведем пример государственного подхода в решении подобной проблемы относительно НАВ. Так, на средиземноморском побережье Италии летом с установлением жаркой погоды регистрируются случаи появления ядовитой динофитовой водоросли *Ostreopsis ovata* Fukuyo 1981, впервые обнаруженной у берегов Японии [23], поражающей дыхательные органы человека воздушно-капельным путём и вызывающей дерматит. Однако в 1982 г. после прибытия судна из Японии в Италию этот вид был обнаружен в средиземноморских водах при температуре воды 24 °С. Поэтому с начала июня итальянское Агентство по защите окружающей среды ввело в действие систему контроля за распространением вида у берегов Италии. Это проводится не случайно, т. к. в 2006 г. в Лигурии были зарегистрированы тяжёлые случаи, связанные с поражением дыхания у 200 человек. Основываясь на прошлом опыте, Агентство разместило 26 пунктов наблюдения за «цветением» воды, вызванным токсичной динофлагеллятой на лигурийском побережье, в т. ч. в районах Лацио, Сицилии, Тосканы и Апулии. В случае высокой концентрации вида в море местное население немедленно предупреждается об опасности на интернет-сайте Агентства.

В настоящее время география этого вида значительно расширилась. В Международной альгобазе отмечена его встречаемость у берегов не только Японии (1981, 2002), но и у Италии в Средиземном море (1982, 2003, 2005, 2006, 2012), Испании (2005), Греции (2006, 2012), Франции (2012), Бразилии (2005, 2010), Мадейры (2012), Индонезии (2012), Малайзии (2012), Туниса (2012), Вьетнама (2012), Новой Зеландии (2012), Канарских островов (2014) [24]. В связи с тем, что вид встречается как в фитопланктоне, так и микрофитобентосе, т. е. экологическая ниша обитания широка и ещё недостаточно исследована, появление его в южных морях представляет определённую опасность. В российских водах Японского моря (Уссурийский залив) в эпифитоне макрофитов уже обнаружено два вида рода *Ostreopsis* [25].

Таким образом, возрастает актуальность проведения регулярного биомониторинга вредоносных видов МВ, возбуждающих «цветение» воды и «красные приливы» в море. Эти виды можно использовать как биоиндикаторы состояния импактных морских экосистем и по ним осуществлять прогноз появления негативных явлений в море, а также проводить адекватный контроль качества продуктов питания морского происхождения. Особенно это важно для прибрежных крымских вод Азово-Черноморского региона – зон туризма и отдыха людей, а также в заповедных охраняемых акваториях. Нарушение хрупкого экологического равновесия в этих морях может привести к тяжёлым последствиям для прибрежных экосистем, хозяйственной и рекреационной деятельности человека.

1. GEOHAB (Global Ecology and Oceanography of Harmful Algae Blooms), Science Plan / Eds P. Glibert, G. Pitcher. Baltimor, Paris: SCOR and IOC, 2001. 86 p.
2. Anderson D.M. Toxic algal blooms and red tides: A global perspective // Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology / Eds. T. Okaichi, D.M. Anderson, T. Nemoto. New-York: Elsevier Science, 1989. P. 11–16.
3. Andersen R. Design and implementation of some harmful algal monitoring system // IOC Techn. Ser. UNESCO, 1996. № 44. 102 pp.
4. Fukuyo Y., Takano H., Chihara M., Matsuoka K. Red Tide organisms in Japan // An illustrated taxonomic guide. Tokyo: Uchido Rokakuho Co. Ltd., 1990. 430 p.
5. Коновалова Г. В. «Красные приливы» в морях (некоторые итоги изучения) // Альгология. 1992. Т. 2, № 3. С. 18–25.
6. Рябушко Л. И. Потенциально опасные микроводоросли Азово-Черноморского бассейна. ИнБЮМ НАН Украины, Океанологический центр НАНУ, Операционный Центр Международ. ин-та океана в Украине. Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2003. 288 с.

7. Рябушко Л. И. Атлас токсичных микроводорослей Черного и Азовского морей. НИЦ Вооруженных Сил Украины «Государственный океанариум». Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 140 с.
8. Рябушко Л. И., Бондаренко А. В. Микроводоросли планктона и бентоса Азовского моря (Чек-лист, синонимика, комментарий). ИнБЮМ НАН Украины. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 211 с.
9. Рябушко Л. И., Поспелова Н. В., Бондаренко А. В., Балычева Д. С. Современное состояние изученности микрофитобентоса прибрежных акваторий Чёрного и Азовского морей близ заповедных территорий Крыма // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: материалы II Всероссийская науч.-практ. конф. (Сочи, 2–4 дек. 2015 г.). Сочи, 2015. С. 259–266.
10. Faust M. A. Morphology of ciguatera-causing *Prorocentrum lima* (Pyrrhophyta) from widely differing sites // J. Phycol. 1991. Vol. 27. P. 642–648.
11. Faust M. A., Larsen J., Moestrup Ø. Potentially toxic phytoplankton. 3. Genus *Prorocentrum* (Dinophyceae) // ICES Identification Leaflets for Plankton. 1999. № 184. 24 p.
12. Besiktepe Sengul, Ryabushko Larisa, Ediger Dilek [et al.], Domoic acid production by *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup et Hasle (Bacillariophyta) isolated from the Black Sea // J. Harmful Algae. 2008. Vol. 7. P. 438–442.
13. Рябушко Л. И. Микрофитобентос Чёрного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. 416 с.
14. Work T. M., Beale A. M., Fritz L. [et al.]. Domoic acid intoxication of brown pelicans and cormorants in Santa Cruz, California // Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ., 1993. P. 643–650.
15. Scholin C. A., Gulland F., Doucette G. J. [et al.]. Mortality of sea lions along the central California coast linked to a toxic diatom bloom // Nature. 2000. № 403. P. 80–84.
16. Moestrup Ø. Haptophytes (Class Prymnesiophyceae or Haptophyceae, division Haptophyta) // IOC Taxonomic Reference List of Toxic Algae, IOC of UNESCO. 2002. <http://ioc.unesco.org/hab/data4 taxlist.htm>.
17. Bodeanu N. Microalgal blooms in the Romanian area of the Black Sea and contemporary eutrophication conditions // Toxic phytoplankton blooms in the sea: Proc. 5-th Inter. Conf. on Toxic Marine Phytoplankton. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ., 1993. P. 203–209.
18. Cadée G. C. Macroaggregates of *Emiliania huxleyi* in sediment traps // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1985. Vol. 24. P. 193–196.
19. Ackleson S., Balh W.M., Holligan P.M. White waters of the Gulf of Maine // Oceanography. 1988. Vol. 1, № 2. P. 18–22.
20. Усачёв П. И. О фитопланктоне Азовского моря // Сб. в честь проф. Н. М. Книповича (1885–1925 гг.). М., 1927. С. 405–429.
21. Остроумов А. А. 1892. Отчет об участии в научной поездке по Азовскому морю на транспорте «Казбек» летом 1891 г. Известия Императорской академии наук. Т. 69(6). 19 с.
22. Остроумов А. Научные результаты экспедиции «Атманая» (Оттиск Изв. Импер. Акад. наук.). 1896. Т. 4, № 4. С. 389–399.
23. Fukuyo Y. Taxonomical study on benthic dinoflagellates collected in coral reefs // Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 1981. Vol. 47. P. 967–978.
24. Guiry M D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>.
25. Selina M S., Orlova T. Y. First occurrence of the genus *Ostreopsis* (Dinophyceae) in the Sea of Japan // Botanica Marina. 2010. Vol. 53, no 3. P. 243–249.

HARMFUL MICROALGAE AS BIOINDICATORS ON IMPACT MARINE ECOSYSTEMS

L. I. Ryabushko, V. I. Ryabushko

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol, RF, larisa.ryabushko@yandex.ru

The analysis of the current state of the problem «Harmful Algal Blooms» in the Azov-Black sea basin is presented. It is shown that these microalgae were found in the Black Sea (over 80 taxa) and in the Sea of Azov (69), including 40 toxic species that are indicated for the protected coastal waters of the Crimea. It was noted that 50 % of species cause "Bloom" of water and the "Red-Tides" in these seas. Some issues associated with the study of toxic algae of the southern seas of Russia are discussed.

Key words: microalgae, toxic species, bloom, red-tides, Black Sea, Sea of Azov