

УДК 628.29:579:582.263

Н.С. КУЗЬМИНОВА, И.И. РУДНЕВА

Ин-т биологии южных морей НАН Украины,
Украина, 99011 Севастополь, пр. Нахимова, 2**ВЛИЯНИЕ СТОЧНЫХ ВОД НА МОРСКИЕ ВОДОРОСЛИ**

Приведен литературный обзор данных о воздействии сточных вод различного происхождения на морские акватории. Освещены проблемы негативного их влияния на морские водоросли. Обсуждаются перспективы применения последних в системах очистки морских вод от ксенобиотиков.

Ключевые слова: сточные воды, морские водоросли.

Введение

В настоящее время сброс сточных вод (СВ) различного происхождения в Мировой океан приобрел катастрофические размеры. Промышленные, сельскохозяйственные и коммунальные стоки, попадающие в море из рек от прибрежных городов, а также сброс сточных вод в открытые зоны моря нарушают естественные эволюционно сложившиеся процессы в водных экосистемах. Особенно страдают шельфовые зоны внутренних морей. Ситуация усугубляется систематическими авариями на очистных сооружениях.

Хозяйственно-бытовые СВ в основном содержат органические вещества – продукты жизнедеятельности человека и животных. К коммунально-бытовому загрязнению относятся также стоки садово-огороднических хозяйств, пищевые и фуражные остатки, различные средства бытовой химии и стоки больничных сооружений. Опасность сброса СВ в водоемы заключается в присутствии в них вредных соединений – тяжелых металлов, пестицидов, нефтепродуктов и др. Так, например, в Мировой океан ежегодно со стоками с суши попадает 500-12000 т нефти и нефтепродуктов, 3-5 тыс. т ртути, 3-40 тыс. т свинца, 97 тыс. т ДДТ, 5 тыс. т ПХБ и множество других опасных загрязнителей (Патин, 1976; Милейковский, 1978). При попадании СВ в морские акватории изменяются не только химически и физически свойства воды (Caperon et al., 1971; Dunstan, Menzel, 1971; Опыт ..., 1973; Taslakian, Hardy, 1976; Sylvester, Ware, 1977; Шульгина и др., 1978; Сенчикова, Ковригина, 1981; Проблемы ..., 1987), со СВ попадают микроорганизмы и паразиты, которые представляют опасность для морской биоты и человека.

Поскольку бытовые СВ содержат значительное количество биогенов – фосфатных и нитратных соединений, насыщение которыми морских экосистем может достигать колоссальных размеров, могут наблюдаться катастрофические последствия, в частности эвтрофирование водоемов, приводящее к интенсифицированному развитию микро- и макроводорослей, а также бактериопланктона. Кроме того, в результате выпуска СВ в прибрежные зоны моря усиливается распреснение этих акваторий, происходит сокращение фотического слоя и образование аноксических и гипоксических зон, заморы гидробионтов.

© Н.С. Кузьминова, И.И. Руднева, 2005

Ликвидировать последствия загрязнения может «самоочищение» воды, под которым прежде всего понимают утилизацию повышенного количества органических и неорганических веществ бактериями, микро- и макроводорослями, а также животными с фильтрационным типом питания.

Цель настоящей работы – обобщение существующей информации о влиянии сточных вод на морские водоросли.

Влияние сточных вод на морские микроскопические водоросли

Благодаря смешанному типу питания отдельные морские виды микроводорослей способны, с одной стороны, утилизировать некоторые ксенобиотики, а с другой – развиваться в большом количестве. Это может привести не только к бурному росту зоопланктона, но и вызвать «цветение» воды и замор рыбы. Увеличение биомассы микроводорослей на эвтрофных участках акваторий, по сравнению с условно чистыми районами, является признаком антропогенного воздействия. В районах загрязнения моря сточными водами в основном присутствуют диатомовые, золотистые, пиррифитовые и мелкие жгутиковые водоросли, причем размеры их клеток меньше, чем в чистых районах (Опыт ..., 1973; Сеничкина, Ковригина, 1981; Зац и др., 1987; Чепурнова и др., 1990; Планктон ..., 1993; Сеничкина, 1995).

Многие микроводоросли способны нормально развиваться в морской воде, загрязненной коммунальными СВ (Кузьминова, 2002а), стоков с ферм, где выращивают скот и разводят рыб (Lincoln et al., 1993; Hussenot et al., 1998; Balazsi, Wikfors, 2000), а также пищевых производств (Ru et al., 1994, Shirai et al., 1998). Анализ имеющейся информации свидетельствует о том, что в природных и лабораторных условиях при загрязнении морской среды сточными водами развиваются определенные виды микроводорослей, перечень которых представлен в таблице. Обитающие в загрязненной воде виды морских микроводорослей используют различные химические соединения для своего роста и развития, тем самым

Таблица. Морские микроводоросли, способные развиваться в среде, загрязненной сточными водами

Микроводоросли	Вид сточных вод	Литературный источник
1	2	3
BACILLARIOPHYTA		
<i>Achnanthes longipes</i> Ag.	ХБСВ	Прошкина-Лавренко, Алфимов, 1954
<i>Actinocyclus</i> Ehr.	ХБСВ	Прошкина-Лавренко, Алфимов, 1954
<i>Amphora coffeiformis</i> (Ag.) Kütz.	СВ от выращивания скота и производства сои	Balazsi, Wikfors, 2000
<i>Asterionella japonica</i> Castr.	Коммунальные	Dunstan, Menzel, 1971
<i>Biddulphia aurita</i> Lyngb.	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
<i>Chaetoceros</i> spp. Ehr.	Коммунальные	Thompson, Ho, 1981
<i>C. compressum</i> Laud.	Коммунальные; СВ от выращивания скота и производства сои	Dunstan, Menzel, 1971 Balazsi, Wikfors, 2000

продолжение таблицы

1	2	3
<i>Cyclotella caspia</i> Grun.	ХБСВ	Сеничкина, 1975
<i>Cylindrotheca closterium</i> Ehr.	Коммунальные	Dunstan, Menzel, 1971
<i>Gomphonema parvulum</i> Kütz.	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>Diadesmus confervacea</i> Kütz.	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>Hyalodiscus scoticus</i> (Kütz.) Grun.	ХБСВ	Прошкина-Лавренко, Алфимов, 1954
<i>Lictophora paradoxa</i> (Lingb.) Ag.	ХБСВ	Прошкина-Лавренко, Алфимов, 1954
<i>Melosira moniliformis</i> (O. Müll.) Ag.	ХБСВ	Прошкина-Лавренко, Алфимов, 1954
<i>M. moniliformis</i> var. <i>subglobosa</i> Grun.	ХБСВ	Прошкина-Лавренко, Алфимов, 1954
<i>Navicula</i> sp. Bory	ХБСВ	Опыт ..., 1973
<i>N. lanceolata</i> (Ag.) Kütz.	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
<i>N. subminuscule</i> Manguin	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>N. erifuda</i> Lange-Bertalot	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>N. gregaria</i> Donkin	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>N. cryptocephala</i> Kütz.		
<i>N. phyllepta</i> Kütz., <i>N. pargemina</i> G.J.C. Underwood & M.L. Yallop	Коммунальные	Underwood et al., 1998
<i>Nitzschia</i> sp. Hass.	ХБСВ	Опыт ..., 1973
<i>N. angularis</i> W. Smith	СВ от производства бумаги и содержащие пестициды	Walsh, Alexander, 1980
<i>N. cryptocephala</i> Kütz.	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>N. frustulum</i> Kütz.	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002; Underwood et al., 1998
<i>N. palae</i> (Kütz.) W. Smith	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>N. sigma</i> (Kütz.) W. Smith	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002; Underwood, et al., 1998
<i>N. spatulata</i> Bréb.	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
<i>N. umbonata</i> Ehr.	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>Phaeodactylum tricornutum</i> Bothin*	Производственные СВ, содержащие гербициды;	Okay et al., 1994
	Коммунальные	Craggs et al., 1995, 1997
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) Cleve	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>P. gibba</i> Ehr.	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002
<i>Plagiogramma vanheurchi</i> Grun.	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Smith	ХБСВ	Опыт ..., 1973
<i>P. angulatum</i> (Queck.) W. Smith	Коммунальные	Underwood et al., 1998
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sund	ХБСВ	Сеничкина, 1994
<i>Sellaphora pupula</i> (Kütz.) Mereshckowsky	Коммунальные	Licursi, Gomez, 2002

продолжение таблицы

1	2	3
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cl.	ХБСВ	Опыт ..., 1973; Куфтаркова, 1977
	Коммунальные	Dunstan, Menzel, 1971
	СВ с ферм по выращиванию рыбы	Hussenot et al., 1998; Tompson, Ho, 1981
	СВ от производства бумаги и содержащие пестициды	Walsh, Alexander, 1980
<i>Synedra tabulata</i> (Ag.) Kütz, <i>S. tabulata</i> var <i>parva</i> (Kütz.) Grun.	ХБСВ	Прошкина-Лавренко, Алфимов, 1954
<i>Tallassionema nitzschioides</i> Grun.	ХБСВ	Опыт ..., 1973
CHLOROPHYTA		
<i>Chlamydomonas</i> Ehr.	Коммунальные	Soler et al., 1991
<i>Chlorella</i> Beijer*	СВ, содержащие тяжелые металлы	Benemann, 1992; Kaplan et al., 1998; Walsh, Alexander, 1980
	СВ от производства бумаги и содержащие пестициды	
<i>C. vulgaris</i> Beijer*	Коммунальные	Lau et al., 1997; Ayala, Vargas, 1987
	СВ, содержащие тяжелые металлы	Pascucci, 1999
<i>C. salina</i> Beijer*	Производственные СВ, содержащие гербициды	Okay et al., 1994
	СВ, содержащие тяжелые металлы	Wong, Chang, 1997; 1990; Benemann, 1992
	Коммунальные	Soler et al., 1991; Bridgeford et al., 1988; Ayala, Vargas, 1987
<i>Chlorococum</i> Menegh.	СВ от производства бумаги и содержащие пестициды	Walsh, Alexander, 1980
<i>Dunaliella</i> Teod.*	СВ от производства сои	Shirai et al., 1998
	СВ, содержащие тяжелые металлы	Benemann, 1992
<i>Platymonas viridis</i> Rouch.	ХБСВ	Кузьминова, 2002a
	СВ с пивоваренного завода и от производства химических веществ из водорослей	Ru et al., 1994
<i>Scenedesmus</i> Meyen	Коммунальные	Soler et al., 1991; Ayala et al., 1985, 1987

окончание таблицы

1	2	3
<i>Tetraselmis</i> Stein*	Коммунальные	McSchan et al., 1974
<i>T. suecica</i> (Kyllin) Butcher.	ХБСВ	Кузьмина, 2002б
CHRYSTOPHYTA		
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) Hay et Mohler	ХБСВ	Опыт ..., 1973; Сеничкина, 1994
<i>Oictyocha speculum</i> var. <i>speculum</i> (Ehr.) Jorgensen	ХБСВ	Опыт ..., 1973
<i>D. octonarius</i> var. <i>ostonarius</i> (Ehr.) Jorgensen	ХБСВ	Опыт ..., 1973
<i>Ysochrysis</i> Par.	СВ от выращивания скота и производства сои	Balazsi, Wikfors, 2000
CYANOPHYTA		
<i>Oscillatoria</i> Vauch. *	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976; Craggs et al., 1997; Сеничкина, 1981
<i>O. limosa</i> Roth, <i>O. princeps</i> Vauch.	Коммунальные	Underwood et al., 1998
<i>Synechococcus</i> Näg.	Коммунальные	Soler et al., 1991
<i>Spirulina</i> Turp.*	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976; Ayala et al., 1985, 1987
	СВ, содержащие тяжелые металлы СВ от выращивания животных	Benemann, 1992; Lincoln et al., 1993
PYRRHOPHYTA		
<i>Ceratium fusus</i> (Ehr.) Duj., <i>C. furca</i> (Ehr.) Clap. et Lachm.	ХБСВ	Опыт ..., 1973
<i>C. pulchellum</i> Segröd.	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
<i>Gymnodinium</i> sp. Stein	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
	ХБСВ	Опыт ..., 1973
<i>Peridinium</i> sp. Ehr.	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
<i>Phormidium</i> Kütz.	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
<i>Prorocentrum</i> sp. Ehr.	СВ от выращивания скота и производства сои	Balazsi, Wikfors, 2000
<i>P. micans</i> Ehr.	СВ от выращивания скота и производства сои	Balazsi, Wikfors, 2000
	ХБСВ	Опыт ..., 1973
<i>P. minimum</i> (Pavillard) Schiller	ХБ и промышленные СВ	Park, 1979
	Коммунальные	Taslakian, Hardy, 1976
XANTHOPHYTA		
<i>Meringosphaera mediterranea</i> Lohmann	ХБСВ	Опыт ..., 1973
Примечания. Звездочкой обозначены водоросли, способствующие значительному снижению вредных компонентов в сточных водах; СВ – сточные воды, ХБСВ – хозяйственно-бытовые сточные воды.		

способствуя ее очищению. Но эти особенности морских водорослей мало изучены. Известно, что *Phaeodactylum tricornutum*, *Chlorella vulgaris*, *Ch. salina*, представители родов *Dunaliella*, *Oscillatoria*, *Spirulina* могут утилизировать значительное количество ксенобиотиков (см. таблицу).

В воде, загрязненной СВ, происходит интенсивное развитие диатомовых водорослей. Данный факт можно объяснить тем, что *Bacillariophyta* – весьма многочисленный, зависимый от биогенных элементов отдел водорослей (Планктон ..., 1993). Так, при инкубации *Phaeodactylum tricornutum* в течение 14 дней в прудах с добавлением сточных вод содержание азота снижается на 80% (Craggs et al., 1995). В экспериментальных условиях при разведении СВ морской водой в соотношении 1:1 *P. tricornutum* и *Oscillatoria* утилизировали азот и фосфор до незначительной величины (Craggs et al., 1997). *Chlorella vulgaris* за 2-3 дня, сохраняя высокую метаболическую активность, уменьшала содержание азота на 95%, а фосфора на 99% (Lau, 1997). *Chlorella salina* снижала NH_4 на 89-100%, NO_3 на 35-66%, а PO_4 на 100% (Wong, Chang, 1990).

Вместе с тем, СВ различного происхождения могут быть токсичными для морских микроводорослей, если в их состав входят нефтепродукты, пестициды, тяжелые металлы. Несмотря на это, проблема негативного действия комплекса ядовитых составляющих сточных вод и специфичность действия стоков на различные виды водорослей в мировой литературе практически не освещена. Так, хозяйственно-бытовые сточные воды (ХБСВ) оказались губительными в концентрации 16,66 мл/л для *Dunaliella viridis*, в то время как *Tetraselmis viridis* и *Stichococcus bacillaris* хорошо развивались в морской воде с добавлением ХБСВ указанной концентрации (Кузьмина, 2002а). При концентрации ХБСВ 500 мл/л морские микроводоросли *Tetraselmis viridis* и *T. suecica* были неподвижны на 12-е сутки опыта, но при этом продолжали интенсивно делиться (Кузьмина, 2002б). Избирательную токсичность СВ подтверждает и тот факт, что на участках их выпуска, в эвтрофированных зонах количество видов микроводорослей значительно ниже, чем в условно чистых районах, зато численность отдельных видов выше, чем в незагрязненных местах (Сеничкина, 1994). Это можно использовать при оценке загрязненности морских акваторий, а виды, численность которых выше в экологически неблагополучных районах, являются индикаторами загрязненности моря СВ. Указанные выше виды микроводорослей могут служить тест-объектами в экотоксикологических исследованиях для оценки токсичности сточных вод (Кузьмина, 2002а, б; Методические ..., 1982).

В настоящее время разрабатываются способы очистки СВ за счет усвоения минеральных форм биогенных элементов микроводорослями. Однако очистные сооружения с морским фитопланктоном требуют значительных капиталовложений, а синтезированная биомасса водорослей не всегда может найти применение и, кроме того, может являться дополнительным загрязнением (Марковцев и др., 1987). В связи с этим для очистки СВ могут быть использованы макрофиты, обладающие большой аккумулярующей способностью.

Влияние сточных вод на морские макрофиты

Ранее отмечено (Воронихин, 1908), что вблизи городов в морской среде преобладают зеленые макрофиты, массовое развитие которых указывает на эвтрофикацию акваторий (Березенко, 1991а). Индикаторами загрязнения морской среды принято считать *Ulva lactuca* Linn., *Enteromorpha intestinalis* Linn., *Callithamnion corymbosum* (Sm.) Lyngb. (Морозова-Водяницкая, 1930; Калугина и др., 1965). В связи с поступлением в воду органических веществ наблюдается также увеличение биомассы цистозир (Морозова-Водяницкая, 1930; Березенко, 1991б, Блинова и др., 1991). В загрязненных акваториях доминируют *Cladophora albida* (Hudson) Kütz., *C. rupestris* (Linn.) Kütz., *C. utriculosa* Kütz., *C. patentiramea* (Mont) Kütz., *C. prolifera* (Roth) Kütz., *C. vagabunda* (Linn.) Hoek и *Ceramium rubrum* (Huds.) Ag., *Bangia fuscopurpurea* (Dill.) Lingb., *Porphyra leucosticta* Thur. (Морозова-Водяницкая, 1930; Костенко, 1990; Argyrou et al., 1999), *Furcellaria* Lamour., *Sphaecelaria* Lyngb. (Algal ..., 1975), в то время как биомасса таких олигосапробных видов, как *Laurencia* Lamour., *Polysiphonia* Grev. снижается (Морозова-Водяницкая, 1930; Костенко, 1990), а стеноионные виды – *Chondrus* Stackh., *Ptilota* Ag., *Cymodocea nodosa* Pignatti, *Posidonia oceanica* Linn. исчезают (Argyrou et al., 1999; Гусарова, Иванова, 2002). На эвтрофированных участках акваторий развиваются также *Zostera marina* Linn., *Z. noltii* Hornemann, *Gracilaria gracilis* (Stackh.) Steen., *G. dura* Ag., *G. bursa-pastoris* (Gmelin) Silva (De Casablanca et al., 2003). Установлено (Морозова-Водяницкая, 1930), что по мере приближения к канализационным стокам в Новороссийской и Керченской бухтах сначала исчезает цистозира, затем zostера, далее – представители кладофора и длинностебельные энтероморфа и, наконец, исчезает ульва.

При воздействии СВ на макрофиты обедняется видовой состав альгофлоры, бурые водоросли вытесняются зелеными и красными водорослями полисапробной группы, снижается общая биомасса макрофитов (Березенко, 1991б). Массивный антропогенный прессинг на сообщества макрофитов может привести и к другим негативным последствиям: снижению биоразнообразия, смене коренных многолетних фитоценозов короткоживущими, упрощению структуры и снижению стабильности донных фитоценозов. В целом, увеличение содержания органических веществ в воде в результате сброса сточных вод не столько влияет на отдельные таксоны, сколько на их сообщества. Так, например, в Черном море в результате чрезмерных постоянных загрязнений за 15-20 лет запасы цистозир и zostеры уменьшились в 2 раза, а биомасса и площадь, занимаемая зелеными водорослями (ульвой, энтероморфой, кладофорой), характерными для эвтрофированной среды видами, увеличились в десятки раз (Калугина-Гутник, 1994). В 50-е годы в Черном море существовало крупнейшее в мире скопление красной агароносной водоросли филофоры площадью 11 тыс. км², с общей биомассой 7-10 млн т. В 90-е годы площадь биоценоза составляла около 500 км², а биомасса не превышала 300-500 тыс. т. В северо-западной части Черного моря практически исчезла цистозира (Зайцев и др., 1996). У цистозир в условиях эвтрофирования кроме снижения численности и биомассы популяции происходит вытеснение особей старших возрастов и увеличение плодовитости (Парчевский и др., 1983; Парчевский, и др., 1985; Костенко, 1990). Таким образом, цистозира способна выносить антропогенную нагрузку до определенного предела (Костенко, 1990), причем угнетение популя-

ции этих водорослей, происходит как за счет процессов эвтрофирования, так и вследствие присутствия в стоках тяжелых металлов (Парчевский и др., 1985).

В связи с поступлением в море канализационно-бытовых СВ в Новороссийской бухте происходило ухудшение условий обитания фитобентоса. Взвеси ксенобиотиков задерживают основную часть световых лучей, что замедляет процесс фотосинтеза, а при осаждении частиц на дно – препятствует прорастанию спор (Березенко и др., 1991а). При усилившихся процессах эвтрофикации в эстуарии (поток азота увеличился в 2 раза) отмечено сокращение ареала распространения zostеры *Zostera marina* (Bowen, Valiela, 2001). При воздействии стоков рыбной промышленности, разбавленных в соотношении от 1:1 до 1:5, на проростки *Enteromorpha intestinalis* на 2-6 сутки происходило сжатие и постепенное обесцвечивание хлоропласта, разбухание оболочки и прекращение деления клеток. Через две недели это привело к гибели водоросли (Березенко и др., 1991б). При таких же разбавлениях СВ, прошедших очистку, отмечено замедленное деление клеток и гибель отдельных экземпляров уже на многоклеточной стадии организмов. Тем не менее, средняя длина и прирост нитей в первом случае был в 2 раза выше, чем во втором (Березенко и др., 1991б).

У *Ulva L.*, *Callithamnion* Lyngb. наблюдается низкое содержание органических соединений, поступающих со стоками, биомасса (не только численность, но и размеры) макрофитов при этом увеличивается (Морозова-Водяницкая, 1973; Измествева, и др., 1997). Так, например, известно, что за короткий срок 1 кг морского салата поглощает до 20 мг фосфора, т. е. максимальное содержание фосфора в 1 м³ морской воды (Поликарпов, 1960а). Константа скорости выведения фосфора ульвой практически не зависит от его содержания в среде, что, безусловно, свидетельствует о высокой адаптационной способности водоросли (Терешенко, Егоров, 1983). Ламинария утилизирует любые формы неорганического азота, отдавая предпочтение аммонийному, который в основном содержится в сточных водах. Наибольшего развития она достигает при содержании азота в морской воде 100 г/м³ и, таким образом, может интенсивно расти и развиваться вблизи выпусков сточных вод (Марковцев, Крупнова, 1987). В зоне влияния СВ г. Анапы фитоценоз был представлен родами *Ectocarpus* Lyngb., *Sphacelaria* Lyngb., *Polysiphonia* Grev., *Ceramium* Wigg. и *Enteromorpha* Link, которые поглощают большое количество различных химических веществ из морской воды и активно участвуют в очистке прибрежных вод (Блинова и др., 1991).

Помимо способности некоторых макрофитов к утилизации биогенных веществ и накоплению радиоактивных элементов (Поликарпов, Акамсин, 1960; Поликарпов, 1960б; Рындина, 1976; Светашева, Поповичев, 1988), водоросли аккумулируют тяжелые металлы (Капков и др., 1987). В частности, в образцах черноморской *Cystoseira crinita* (Desf.) Duby, подвергавшейся хроническому воздействию сточных вод, были обнаружены Mn, Ni, Cu, Co, Zn и Pb (Лазоренко и др., 1983; Парчевский и др., 1983), причем вблизи места сброса СВ концентрация Zn и Pb в фитомассе была в 5-8 раз выше, чем в чистой зоне (Парчевский и др., 1985). Значительное количество хлорогеновых пестицидов, преимущественно ДДТ, обнаружено и в черноморской красной водоросли *Phyllophora nervosa* (D.C.) Grev., что связано с повышенным загрязнением района ее произрастания (Головин, и др., 1995). Специфика питания и способность некоторых макрофитов сорбировать чужеродные вещества, попадающие в Мировой океан в результате хронических и

аварийных сбросов сточных вод, позволяют использовать их в системах биологической очистки. Так, известно, что в качестве биофильтра отходов, поступающих от выращивания рыбы *Sparus aurata*, применяют *Ulva rigida* Ag. (Jimenez et al., 1996). Стоки от выращивания креветок могут служить питательной средой для *Gracilaria fisheri* Xia & Abbott (Kanit, 1996), хотя имеются сведения, что *Gracilaria foliifera* Forsk. и *Neogardhiella baileyi* обладают незначительной способностью утилизировать соединения азота, основного биогенного элемента стоков. Имеются также противоположные сведения (Chow et al., 2001): *Gracilaria chilensis* Strein является высокоэффективным биофильтром (во все сезоны года) сточных вод, богатых фосфатами, нитритным, нитратным и аммонийными формами азота, поступающими от выращивания перуанской *Isacia conteptionis*, устриц *Crassostrea gigas* и морских ежей *Loxechinus albus*. Более того, после содержания этой водоросли в стоках от выращивания лососевых рыб ее можно использовать в производстве агара (Martinez et al., 1996). Возможное использование *Cystoseira crinita* для деэтрофирования прибрежных вод также является перспективным направлением исследований (Завалко, 1983).

Выводы

Анализ приведенных выше литературных данных позволяет сделать такие выводы:

- токсичность сточных вод для морских водорослей определяется их химическим составом;
- благодаря использованию биогенных компонентов стоков в качестве питательных веществ и способности аккумулировать некоторые ксенобиотики морские водоросли активно участвуют в процессах биологической очистки морской воды от поллютантов;
- методы санитарно-биологического анализа морских вод, основанные на выявлении видов микро- и макроводорослей - индикаторов чистых и загрязненных районов, могут быть использованы в системах биологического мониторинга;
- многочисленные литературные сведения, касающиеся вопросов загрязнения Мирового океана сточными водами, свидетельствуют о глобальности и актуальности этой проблемы. Научных данных о воздействии сточных вод на морскую биоту значительно меньше, чем на пресноводную, но в мировой литературе достаточно полно освещены темы поступления и трансформации СВ, имеются сведения об аварийных и хронических сбросах сточных вод.

На наш взгляд, актуальными являются исследования, касающиеся мультифакторного влияния сточных вод (особенно производственных) на морские макрофиты. Недостаточно изучено применение морских микро- и макроводорослей в экотоксикологических исследованиях влияния опасности стоков, а также в биотестировании сточных вод различного происхождения. В прикладном аспекте применение макрофитов в системах очистки морской воды изучено недостаточно, несмотря на то, что альгофлора является основным звеном экосистемы, позволяющим снизить антропогенную нагрузку. Имеются данные о способности макрофитов утилизировать различные химические соединения.

N.S. Kuzminova, I.I. Rudneva

Institute of Biology of the Southern Seas,
Nahimov av. 2, 99011, Sevastopol, Ukraine

THE EFFECT OF WASTEWATER ON MARINE ALGAE

Literature review of different wastewater influence on marine ecosystems is presented. The problems of sewage entering and transformation are broached. Their toxic effect on marine algae are demonstrated. The possibility of biological waste reclamation and using some species of algae culturing in sewage addition for production are discussed.

Keywords: wastewater, marine algae.

- Березенко Н.С. Сравнительная характеристика энтероморфных фитоценозов в Новороссийской бухте // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистемы Черноморского побережья. Ч. 1. – Краснодар, 1991а. – С. 48-50.
- Березенко Н.С. Состав и особенности распределения водорослей в порту рыбколхоза «Черноморец» и прилегающей к нему акватории // Там же. – 1991б. – С. 46-48.
- Березенко Н.С., Халилова М.Р. Влияние промышленных и бытовых стоков на донную растительность Новороссийской бухты // Там же. – 1991а. – С. 76-78.
- Березенко Н.С., Халилова М.Р., Лукина Н.В. Влияние сточных вод рыбной промышленности на рост и развитие проростков водоросли в эксперименте // Там же. – 1991б. – С. 270-272.
- Блинова Е.И., Сабурин М.Ю., Белевикина О.А. Состояние фитоценозов и выращивание цистозиры в Черном море // Рыб. хоз-во. – 1991. – 12. – С. 42-45.
- Воронихин Н.Н. Зеленые водоросли (*Chlorophyceae*) Черного моря. 1. Общ. ч. // Ботан. журн. – 1908. – № 6. – С. 137-139.
- Головин А.Н., Воронова Ю.Г., Конищева Е.Н. Хлороорганические пестициды в морских водорослях и в продуктах из них // Рыб. хоз-во. – 1995. – № 3. – С. 52-53.
- Гусарова И.С., Иванова Н.В. Адаптивные реакции водорослей-макрофитов к загрязнению воды на разных экологических уровнях // Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки: Тез. докл., Москва-Голицыно, 26-30 авг. 2002 г. – С. 16-17.
- Завяло С.Е. Возможности использования природной популяции *Cystoseira crinita* (Desf.) Vory для дез-втрофирования прибрежных вод // Состояние, перспективы улучшения и использования морских экосистем прибрежной части Крыма: Тез. науч. практ. конф., посвящ. 200-летию города-героя Севастополя. – Севастополь, 1983. – С. 3-4.
- Зайцев Ю., Мамаев В. Управление живыми ресурсами // Спасем Черное море. Офиц. информ. бюл. «Экологические проблемы по Черному морю» (BSEP при Глобальном фонде по окружающей среде. Сент. 1996 г. – С. 8-9.
- Зац В.И., Немировский М.С., Куфтаркова Е.А. и др. Состояние качества прибрежной зоны района Ялты как результат комплекса природоохранных мероприятий // III съезд сов. океанологов: Тез. докл. – 1987. – С. 96-98.
- Изместьева М.А., В.П. Парчевский В.П., Ковардаков С.А. Влияние скорости протока и уровня трофности среды на рост *Ceramium diaphanum* (Lightf.) Roth. (*Rhodophyta*) при пониженной освещенности // Альгология. – 1997. – 7, № 3. – С. 273-279.
- Калугина-Гутник А.А. Развитие фитобентосных исследований на Черном море // Мор. биол. исслед. – Севастополь, 1994. – С. 65-80.
- Калугина А.А., Миловидова Н. Ю., Свиридова Т.В., Уральская И.В. К вопросу о влиянии различных источников загрязнения на морские организмы Новороссийской бухты Черного моря //

- Вопр. гидробиол.: Тез. I съезда Всесоюз. гидробиол. об-ва, Москва, 1-6 февр., 1965 г. – С. 199.
- Капков В.И., Блинова Е.И., Тришина О.А., Максимов В.Н. Использование макрофитов в системе биологического мониторинга загрязнения морской среды тяжелыми металлами // III Съезд сов. океанологов: Тез. докл. Ч. II – Л., 1987. – С. 48-49.
- Костенко Н.С. Антропогенные изменения донной растительности Карадагского заповедника // Биол. науки. – 1990. – № 9. – С. 101-110.
- Кузьмина Н.С. Действие хозяйственно-бытовых сточных вод на представителей морских микроводорослей отдела *Chlorophyta* // Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. молод. ученых, 25-28 февраля 2002 г. – Киев, 2002а. – С. 157-158.
- Кузьмина Н.С. Морские микроводоросли как индикаторы токсичности коммунальных стоков // Соврем. проблемы водной токсикологии: Тез. докл., 19-21 нояб. 2002 г. – Борок, 2002б. – С. 147-148.
- Курфаркова Е.А., Сенчикова Л.Г. Динамика двуокси углерода, сапрофитных бактерий и фитопланктона при биохимическом окислении нестойкого органического вещества // Биол. моря. – 1977. – Вып. 41. – С. 60-63.
- Лазаренко Г.Е., Празукин А.В., Хайлов К.М. Распределение ряда металлов в биохимических составляющих цистозеры из района, загрязненного бытовыми сточными водами // Состояние, перспективы улучшения и использования морских экосистем прибрежной части Крыма: Тез. науч. практ. конф., посвящ. 200-летию города-героя Севастополя. – Севастополь, 1983. – С. 11-12.
- Марковцев В.Г., Крутинова Т.Н. Биологическое обоснование культивирования ламинариевых водорослей для очистки сточных вод рыбообрабатывающих предприятий // Промысловые водоросли и их использование.: Сб. науч. тр. – М., 1987. – С. 49-56.
- Методические рекомендации по биотестированию природных, сточных вод и отдельных загрязняющих веществ. – М., 1982. – 34 с.
- Милейковский С.А. Об объеме и интенсивности антропогенного загрязнения Мирового океана в настоящее время (Обзор литературы) // Океанология. – 1978. – 18, вып. 6. – С. 1092-1100.
- Морозова-Водяницкая Н.В. Материалы к санитарно-биологическому анализу морских вод // Работы Новоросс. станции им. В.М. Арнольди. – 1930. – № 4. – С. 163-183.
- Морозова-Водяницкая Н.В. О взаимоотношении водорослей в фитоценозах Черного моря // Гидробиол. исследования северо-восточной части Черного моря. – Ростов: Изд-во Ростов. ун-та. – 1973. – С. 20-28.
- Опыт теоретического и экспериментального исследования проблемы глубоководного сброса сточных вод на примере района Ялты. – Киев, 1973. – 278 с.
- Патин С.А. Экологические аспекты глобального загрязнения морской среды // Океанология. – 1976. – 16, вып. 4. – С. 621-626.
- Парчевский В.П., Хайлов К.М., Празукин А.В., Попов А.Е., Бурдин К.С., Крутина М.В., Савельев И.Б. Влияние хозяйственно-бытового загрязнения на черноморскую бурую водоросль *Cystoseira crinita* (Dest.) Vory на популяционном уровне // Состояние, перспективы улучшения и использования морских экосистем прибрежной части Крыма: Тез. науч. практ. конф., посвящ. 200-летию города-героя Севастополя. – Севастополь, 1983. – С. 21-22.
- Парчевский В.П., Празукин А.П., Попов А.В., Бурдин К.С., Крутина М.В., Савельев И.Б. Изучение влияния городских сточных вод на популяционные и организменные параметры черноморской бурой водоросли *Cystoseira crinita* (Dest.) Vory // Вестн. МГУ Сер. 16. Биология. – 1985. – № 2. – С. 32-38.
- Планктон Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1993. – 282 с.
- Поликарпов Г.Г. К изучению фосфорного питания *Ulva rigida* методом меченных атомов // Тр. Севастоп. биол. станции. – 1960а. – 3. – С. 296-298.

- Поликарпов Г.Г. О способности морской водоросли *Ulva rigida* накапливать уран-238 из его равновесной системы с торием-234 // Там же. – 1960б. – 3. – С. 293-295.
- Поликарпов Г.Г., Акаксин А.Д. Экспериментальное изучение накопления иттрия морскими водорослями, актиниями и грунтами // Там же. – 1960. – 3. – С. 299-301.
- Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. Т. 6. Изменение физико-химических свойств морских вод под влиянием загрязнения. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 200 с.
- Прошкина-Лавренко А.И., Алфимов Н.Н. Об использовании диатомовых водорослей при оценке санитарного состояния морских вод // Ботан. журн. – 1954. – 39, № 1. – С. 108-112.
- Рындина Д.Д. Накопление и фиксация радионуклидов водорослевыми полисахаридами // Гидробиол. журн. – 1976. – 12, № 2. – С. 45-48.
- Светашева С.К., Поповичев В.Н. Трансформация различных химических форм радиоактивного йода в пищевом звене ульва-идотен // V Всесоюз. конф. по вод. токсикол.: Тез. докл., Одесса 18-22 апреля 1988 г. – М., 1988. – С. 94-95.
- Сеничкина Л.Г. Изменение структуры черноморского фитопланктона при антропогенном воздействии // Мор. биол. исслед. – Севастополь, 1994. – С. 54-64.
- Сеничкина Л.Г. Фитопланктон чистых и загрязненных хозяйственно-бытовыми стоками вод в районе Ялты // Биол. моря. – 1973. – Вып. 28. – С. 135-150.
- Сеничкина Л.Г. Вплив антропогенних чинників на основні показники структури чорноморського фітопланктону // Урбанізація як фактор змін біогеоценотичного покриву: Мат-ли конф. 21-23 вересня 1994 р. – Львів, 1994. – С. 88-89.
- Сеничкина Л.Г. Влияние сточных вод на морской фитопланктон // Биология шельфа: Тез. докл. Всесоюз. конф. – Владивосток, 1975. – С. 158-159.
- Сеничкина Л.Г., Ковригина Н.П. Фитопланктон и динамика форм азота в экспериментальных условиях // Гидробиол. журн. – 1981. – 12, вып. 5. – С. 116-118.
- Тереженко Н.Н., Егоров В.Н. Кинетические характеристики поглощения и выведения фосфора зеленой водорослью *Ulva rigida* Ag. // Состояние, перспективы улучшения и использования морских экосистем прибрежной части Крыма: Тез. науч. практ. конф., посвящ. 200-летию города-героя Севастополя. – Севастополь, 1983. – С. 185-186.
- Чепурнова Э.А., Сеничкина Л.Г., Шумакова Г.В., Манжос Л.А. Динамика гидробиологических показателей в районе загрязнения морских прибрежных вод хозяйственно-бытовым стоком // Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химических загрязнений: Мат-лы Всесоюз. науч. симп., Одесса, 3-6 окт. 1988 г. – М., 1990. – С. 154-158.
- Шульгина Е.Ф., Куракова Л.В., Куфтаркова Е.А. Химизм вод шельфовой зоны Черного моря при антропогенном воздействии. – Киев: Наук. думка, 1978. – 124 с.
- Algal zonation on Rocky Shores outside Helsinki as a basis for Pollution monitoring // Merentutkimuslait. Julk. // Havforskningsinst. skr. – 1975. – N 239. – P. 344-345.
- Ayala J.F., Diaz G.M.E., Bravo B.R. Microalgae culture in salt water media // Ergeb. Limnol. Adv. Limnol. – 1985. – N 20. – P. 53-61.
- Ayala F., Vargas T. Experiments on *Spirulina* culture on waste-effluent media and at the pilot plant // Hydrobiologia. – 1987. – P. 151-152.
- Argyrou M., Hadjichristophorou M., Demetropoulos A. Ecological changes of softbottom macrobenthic assemblages in relation to the sewage outfall, in the Limassol Bay, Cyprus (Easern Mediterranean) // Oecologia. – 1999. – 25. – P. 61-88.
- Balazsi B., Wikfors G.H. Experimental evidence for phytic acid-phosphorus use by pure cultures of marine microalgae // J. Shellfish Res. – 2000. – 19, N 1. – P. 567-568.
- Benemann J.R. An overview of microalgae industrial phyecology // J. Phycol. – 1992. – 28, N 3. – P. 11.

- Bowen J., Valiela I. The ecological effects of urbanisation of coastal watersheds // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2001. – 58, N 8. – P. 1489-1500.
- Bridgeford J.A., Aoyte E., Rosowski J.R. Survivorship and growth of *Artemia franciscana* Kellogg in organically enriched *Chlorella* sp. cultures // *J. Phycol.* – 1988. – 24, suppl. – P. 18.
- Caperon R.J., Cattell S.A., Krasnick G. Phytoplankton kinetics in a subtropical estuary: eutrophication // *Limnol. Oceanogr.* – 1971. – 16, N 4. – P. 389-317.
- Chow F., Macciavello J., Crus S.S., Fonck E., Olivares J. Utilisation of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta: Gracilariaceae) as a biofilter in the depuration of effluents from tank cultures of fish, oysters and sea urchins // *J. World Aquacult. Soc.* – 2001. – 32, N 2. – P. 215-220.
- Craggs R.J., Smith V.J., McAuley P.J. Wastewater nutrient removal by marine microalgae cultured under ambient conditions in mini-ponds // *Water Sci. Technol.* – 1995. – 31, N 12. – P. 151-160.
- Craggs R.J., McAuley P.J., Smith V.J. Wastewater nutrient removal by marine microalgae grown on a corrugated raceway // *Water Res.* – 1997. – 31, N 7. – P. 1701-1707.
- De Casablanca M.-L., Rabotin M., Rigault R. Preliminary results on regression and red seaweed dominance under increasing eutrophication (Thau Lagoon, France) // *ACTA ADRIAT.* – 2003. – 44, N 1. – P. 33-40.
- Dunstan W.M., Menzel D.W. Continuous culture of natural populations of phytoplankton in dilute, treated sewage effluent // *Limnol. Oceanogr.* – 1971. – 16, N 4. – P. 623-632.
- Hussenot J., Lefebvre S., Brossard N. Open-air treatment of wastewater from land-based marine fish farms in extensive and intensive systems: current technology and future perspectives // *Aquat. Living. Resour.* – 1998. – 11, N 4. – P. 297-304.
- Jimenez Del Rio M., Ramazanov Z., Garcia-Reina G. *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluent // *Hydrobiologia.* – 1996. – 326-327. – P. 61-66.
- Kanit C. Phytosanitation – utilisation of *Gracilaria* in reclamation of shrimp pond effluents // *NACA- Environ. Aquacult. Dev. Ser.* – 1996. – N 3. – P. 331.
- Kaplan D., Christiaan D., Arad S. Binding of heavy metals by algae polysaccharides // *Algae Biotechnol.* – 1988. – P. 179-188.
- Lau P.S., Tam N.F.G., Wong Y.S. Wastewater nutrients (N and P) removal by carrageenan and alginate immobilized *Chlorella vulgaris* // *Environ. Technol.* – 1997. – 18, N 9. – P. 945-951.
- Licursi M., Gomez N. Benthic diatoms and some environmental conditions in three lowland streams // *Ann. Limnol.* – 2002. – 38, N 2. – P. 109-118.
- Lincoln E.P., Crawford J. W., Wilkie A.C. *Spirulina* in animal agriculture // *Bull. Inst. Oceanogr. (Monako).* – 1993. – N 12. – P. 109-115.
- Martinez L.A., Buschmann A.H. Agar yield and quality of *Gracilaria chilensis* (Gigartinales, Rhodophyta) in tank culture using fish effluents // *Hydrobiologia.* – 1996. – 326-327. – P. 341-345.
- McShan M., Trieff N., Grajcer D. Biological treatment of wastewater using algae and *Artemia* // *J. Water Pollut. Control.* – 1974. – 46, N 7. – P. 1742-1749.
- Okay O.S., Morcos E., Gaines A. Effects of two herbicidal wastewaters on *Chlorella* sp. and *Phaeodactylum tricoratum* // *Environ. Pollut.* – 1994. – 84, N 1. – P. 1-6.
- Park J.S. Field bioassays on shellfish to assess environmental pollution levels of the Masan Bay // *J. Oceanol. Soc. Korea.* – 1979. – 14, N 1. – P. 15-25.
- Pascucci P.R., Kowalak A.D. Metal distribution in complexes with *Chlorella vulgaris* in seawater and wastewater // *Water. Environ. Res.* – 1999. – 71, N 6. – P. 1165-1170.
- Ru S., Li Y., Bay F., Zhu H. The effect of the wastes from Laoshan brewery and algae farming chemical plant on *Platymonas* sp. // *Mar. Environ. Sci.* – 1994. – 13, N 4. – P. 56-62.
- Shirai F., Kunii K., Sato C., Teramoto Y., et al. Cultivation of microalgae in the solution from the desalting

- process of soy sauce waste treatment and utilisation of the algae biomass for ethanol fermentation // *World. J. Microbiol. and Biotechnol.* – 1998, –14, N 6. – P. 839-842.
- Soler A., Saez J., Lorens M., Martinez I.* et al. Changes in physico-chemical parameters and photosynthetic microorganisms in a deep wastewater self-depuration lagoon // *Water. Res.* – 1991. – 25, N 6. – P. 689-695.
- Sylvester A. I., Ware G.C.* Laboratory studies on the effect of metals on oxygen uptake by sewage sludge in brackish water // *Mar. Pollut. Bull.* – 1977. – 8, N 2. – P. 45-48.
- Taslakian M.J., Hardy J.T.* Sewage nutrient enrichment and phytoplankton ecology along the central coast of Lebanon // *Mar. Biol.* – 1976. – 38, N 4. – P. 315-325.
- Thompson G.B., Ho J.* Some effects of sewage discharge upon phytoplankton in Hong Kong // *Mar. Pollut. Bull.* – 1981. – 12, N 5. – P. 168-173.
- Underwood G.J.C., Phillips J., Saunders K.* Distribution of estuarine benthic diatom species along salinity and nutrient gradients // *Europ. J. Phycol.* – 1998. – 33, N 2. – P. 173-183.
- Walsh G.E., Alexander S.V.* A marine algae bioassay method: results with pesticides and industrial wastes // *Water Air. Soil. Pollut.* – 1980. – 13, N 1. – P. 45-55.
- Wong P.K., Chang K.Y.* Growth and value of *Chlorella salina* grown on highly saline sewage effluent // *Agric. Ecosyst. Environ.* – 1990. – 30, N 3-4. – P. 235-250.

Получена 20.11.03

Подписала в печать Л.А. Сиренко