УДК 5474.5:628.357 (252.5)

РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНОЙ КРЫМА

С.И. Рубцова, А.Г. Лямин, Н.В. Лямина, М.В. Пузаков, Л.В. Пузакова

Институт природно-технических систем
г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: rsi1976@mail.ru

Работа посвящена разработке системы экологической оценки прибрежной зоны, основываясь на принципах интегрированного подхода к управлению ресурсно-экологической безопасности Азово-Черноморского региона. Сформированы методические подходы и прикладные оценки анализа контроля качества морской воды и донных осадков по данным мониторинга. Предложены методы биомониторинга морской среды, результаты которого носят универсальный характер и могут служить как показателем хорологической структуры исследуемого ценоза, так и его физиологического состояния, рассматриваются перспективы использования данных по активности мобильных генетических элементов в качестве диагностики влияния экологических факторов антропогенного происхождения на стабильность геномов организмов.

Введение. Усиление антропогенного влияния на экосистему Черного и Азовского морей выражается в деградации биологических, рекреационных и других ресурсов. Принятые меры по защите окружающей среды привели к стабилизации загрязнения акватории морей и наметились тенденции улучшения. Однако, уровень загрязнения донных осадков, которые являются источником вторичного загрязнения водной толщи, по-прежнему остается высоким. В связи с этим назрела необходимость поиска путей улучшения использования природных ресурсов и возобновления воспроизводства экосистем Черного и Азовского морей. Актуальность выбранной темы определяется необходимостью создания единой системы экологической оценки прибрежной зоны, основываясь на принципах интегрированного подхода к управлению ресурсно-экологической безопасности Азово-Черноморского региона [1].

Постоянно возрастающие потребности общества в создании новых материалов ведут к увеличению количества воздействующих на биоту химических соединений антропогенного происхождения [2, 3] Это снижает ценность многочисленных лабораторных экспериментов по влиянию токсикантов на модельные сообщества, поскольку они, во-первых, не могут «отследить» всю гамму токсичных соединений и, во-вторых, не учитывают возникающие при их воздействии синергические эффекты [4].

Морское прибрежье характеризуется высокой динамичностью, а также наличием вдольбереговой циркуляции. Во взаимосвязанную систему прибрежных течений вовлекаются имеющиеся в прибрежных акваториях мелководные выпуски хозяйственно бытовых сточных вод с органическими загрязнителями, а также поступающее из донных осадков вторичное загрязнение, что приводит к деградации любой составной части его акватории и может необратимо повлиять на экологическую ситуацию моря в целом [4–7].

Необходим поиск новых методов биомониторинга морской среды, результаты которого носили бы универсальный (интегральный) характер и могли служить как показателем хорологической структуры исследуемого ценоза, так и его физиологического состояния [2, 8–11]. При этом, из всего многообразия реакций «поствоздействия» популяций наибольший интерес, несомненно, представляют те, которые, во-первых, проявляются уже в течение первых десятков минут после воздействия поллютанта и, во-вторых, определяются инструментальными методами регистрации наблюдаемых эффектов [12–14]. Поэтому, биофизические методы могут служить чувствительным индикатором степени резистентности планктонных организмов к воздействию поллютантов и экспрессным показателем регионального загрязнения морской среды [4, 15, 16]. Биолюминесцентные характеристики планктонных организмов и создаваемое ими световое поле возможно применить

для экспрессной оценки загрязнения неритических акваторий [13, 17, 18]

Результаты и обсуждение. На рис. 1 приведена блок-схема экологической оценки в системе интегрированного управления ресурсно-экологической безопасности прибрежной зоны Чёрного моря.

Блок 1, или прибрежный менеджмент, объединяет все остальные блоки. Прибрежный менеджмент определяется как скоординированная деятельность по управлению и руководству прибрежной зоной. Комплексное управление прибрежной зоной представляет собой непрерывный процесс выработки и принятия решений, направленный на гармоничное развитие прибрежных районов в целях его устойчивого развития. Развитие является устойчивым, если оно обеспечивает экономический рост, повышение уровня жизни населения, установление демократических форм влияния общества на процесс развития, сохранение культурного наследия и не приводит к ухудшению экологического состояния территорий, качества среды обитания, качества воды (морской и вод суши), воздуха, биологического и ландшафтного разнообразия [1].

Под прибрежной зоной нами понимается зона контакта суши с морем, включая природные комплексы – как берега, так и прилежащую морскую акваторию в границах, позволяющих обеспечить экологически сбалансированное развитие прибрежных территорий, сохранение прибрежных и морских ландшафтов и экосистем от загрязнения и уничтожения, – территория с режимом ограниченной и регулируемой хозяйственной и иной деятельности. Прибрежная зона - это пространство, где с особой интенсивностью осуществляется взаимодействие человека с окружающей средой [1].

Задачей комплексного управления прибрежной зоной является нахождение оптимального баланса между различными видами деятельности в прибрежной зоне, выработки стратегии по созданию такой ее экономической и социальной структуры, которая наиболее полно отвечала бы общим интересам развития территорий и сводила бы к минимуму конфликтные ситуации, возникающие среди различных участников этой деятельности.

Блок 2 – контроль качества морской воды и прибрежных отложений. В этом блоке планируется на заранее выбранных полигонах в прибрежной зоне Черного моря производить плановые исследования динамики загрязняющих веществ, включая нефть и нефтепродукты, а также численности основных организмов, участвующих в трансформации загрязнений.

Блок 3 – изучение экологической обстановки в прибрежной зоне Черного моря, позволит дать оценку экологического состояния прибрежной среды рекреационной зоны. При этом рассматриваются такие пункты, как, загрязнение, береговой сток; проводится контроль над источниками загрязнения, изучаются объемы загрязнений, поступающих от плавсредств и в результате свала мусора, производится оценка и мониторинг загрязняющих веществ.

Блок 4 – изучение роли морских организмов в утилизации органических веществ, направлен на изучение и последующие использование морских организмов в утилизации загрязняющих веществ. Поступающие в воду органические вещества служат пищей микроорганизмам, и поэтому обогащение воды этими веществами непременно влечет за собой вспышку развития микрофлоры. Микроорганизмы являются биоиндикаторами наличия различных видов загрязняющих веществ в морской воде. Гетеротрофные бактерии в своем питании используют легкодоступные органические вещества. Количественное содержание нефтеокисляющих микроорганизмов является свидетельством идущего процесса естественного самоочищения морской среды от нефти и нефтепродуктов [1, 19–21]

Блок 5 – создание системы комплексного использования водных ресурсов прибрежной зоны, в этом блоке рассматриваются вопросы промышленной эксплуатации ресурсов, охраны биологического разнообразия, охраны мест обитания и ландшафта, оценки уровней воздействия на окружающую среду и

объединенного управления прибрежной зоной.

Блок 6 – изучение параметров биолюминесценции и фоновых характеристик среды *in situ* для экспресс оценки функционирования водных экосистем. Основная роль в создании биолюминесцентного потенциала моря принадлежит планктонным организмам. В Чёрном море биолюминесцентный потенциал формируется 36-мя видами водорослей Dinophyceae, а также тремя видами гребневиков, несколькими видами копепод и двумя родами светящихся бактерий [13, 17, 18]. Свечение вод Чёрного моря в значительной мере обусловлено планктонными динофлагеллятами родов *Neoceratium, Protoperidinium, Scrippsiella, Gonyaulax, Noctiluca, Lingulodinium, Pyrocystis* [13, 17]. У 30 видов Dinophyceae характеристики светоизлучения определены инструментально в условиях Чёрного моря сотрудниками отдела биофизической экологии Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского [13, 17]. В табл. 1 показано систематическое положение светящихся планктонных водорослей [13, 17].

Параметры биолюминесценции планктонтов могут служить чувствительным экспресс-индикатором степени их резистентности к воздействию поллютантов и экспрессивным показателем регионального загрязнения морской среды [13, 17, 18, 22]. В этой связи, изучение динамики параметров биолюминесценции и фоновых характеристик среды *in situ* актуально для экспресс оценки функционирования водных экосистем [13, 17, 18, 22].

Р и с. 1. Экологическая оценка в системе интегрированного управления ресурсно-экологической безопасности прибрежной зоны Черного моря

Таблица 1

Систематическое положение светящихся Dinophyceae Чёрного моря [13, 17]

				Вид
Царство: Chromista; **Тип:** Myzozoa; **Класс:** Dinophyceae	**Отряд** Gonyaulacales	**Семейство** Ceratiaceae	**Род** *Neoceratium*	*Neoceratium candelabrum* (Ehrenberg) F.Gómez, D.Moreira & P.López-Garcia, 2001
				N. extensum (Gourret) F.Gomez, D.Moreira & P.Lopez-Garcia, 2009
				N. furca (Ehrenberg) F. Gomez, D. Moreira & P. Lopez-Garcia, 2009
				N. fusus (Ehrenberg) F. Gomez, D. Moreira & P. Lopez-Garcia, 2009
				N. inflatum (Kofoid) F.Gomez, D.Moreira & P.Lopez-Garcia, 2009.
				N. macroceros (Ehrenberg) F.Gomez, D.Moreira & P.Lopez-Garcia, 2009
				N. tripos (O.F.Müller) F.Gomez, D.Moreira & P.Lopez-Garcia, 2009.
		Семейство Gonyaulacaceae	**Род** *Gonyaulax*	*Gonyaulax apiculata* (Pénard, 1891) Entz, 1904
				G. digitale (Pouchet, 1883) Kofoid, 1911
				G. polygramma Stein, 1883
				G. spinifera (Claparède & Lachmann, 1859) Diesing, 1866
			Род *Lingulodinium*	*Lingulodinium poliedrum* (Stein, 1883) Dodge, 1989
	Отряд Noctilucales	**Семейство** Noctilucaceae	**Род** *Noctiluca*	*Noctiluca scintillans* (Macartney, 1810) Kofoid et Swezy, 1921
	Отряд Peridiniales	**Семейство** Protoperidiniaceae	**Род** *Protoperidinium*	*Protoperidinium brevipes* (Paulsen, 1908) Balech, 1974
				P.brochii (Kofoid & Swezy) Balech
				P. claudicans (Paulsen, 1907) Balech, 1974
				P. conicum (Gran, 1900) Balech, 1974
				P. crassipes (Krofoid, 1907) Balech, 1974
				P. depressum(Bailey) Balech, 1974
				P. diabolum (Cleve) Balech, 1974.
				P. divergens (Ehrenberg, 1841) Balech, 1974
				P. elegans (Cleve, 1900) Balech, 1974
				P. globulus (Stein, 1883) Balech, 1974
				P.granii (Ostenfield, 1906) Balech, 1974
				P. leonis (Pavillard, 1916) Balech, 1974
				P. oceanicum (VanHöffen, 1897) Balech, 1974
				P. pallidum (Ostenfeld, 1899) Balech, 1973
				P. pedunculatum (Schütt) Balech, 1895
				P. pellucidum Bergh, 1882
				P. pentagonum (Gran, 1902) Balech, 1974
				P. sinaicum (Matzenauer, 1933) Balech, 1974
				P. solidicorne (Mangin, 1922) Balech, 1974
				P. spiniferum (Schiller) Balech, 1974
				P. steinii (Jørgensen) Balech, 1974
			Род *Scrippsiella*	*Scrippsiella trochoidea* (Stein, 1883) Balech ex Loeblich III, 1965
			Род *Pyrocystis*	*Pyrocystis lunula* (Schütt) Schütt, 1896

Блок 7 – Изучение влияния экологических факторов антропогенного происхождения на транспозиционную активность мобильных генетических элементов. Результаты данных исследований позволят спрогнозировать поведение популяций, а также и экосистем, составляющей которых эти популяции являются, в условиях воздействия различных антропогенных факторов. Кроме того сделают возможным определить какие из неблагоприятных экологических факторов являются наиболее критическими для морских экосистем.

Усиление давления факторов антропогенного происхождения на сообщества морских организмов приводит к изменениям на всех уровнях биологической организации, что влечет за собой снижение биоразнообразия и смену доминирующих видов. Установлено, что в условиях стресса может происходить индукция транспозиционной активности мобильных генетических элементов (МГЭ), последовательностей ДНК, которые способны интегрироваться в новые участки генома внутри клетки хозяина.

На сегодняшний день известно большое количество стрессовых факторов, как внутриклеточных, так и внешних, при воздействии которых была зафиксирована индукция перемещений МГЭ. Это высокие и низкие температуры, pH, ультрафиолетовое излучение, магнитные поля, гамма-радиация, различные химические соединения, аутбридинг, имбридинг, инфекции, голодание и др. [23, 24]. В результате транспозиций мобильные элементы могут изменять первичную структуру ДНК, вмешиваться в работу генов, влиять на процессы регуляции транскрипции, вызывать хромосомные перестройки. Закономерным следствием повышенного мутагенеза, вызванного стрессом, является увеличение спектра генетического разнообразия. На этом основании предполагается, что мобильные генетические элементы играют значительную роль в адаптации организмов к окружающей среде и в эволюции генома [25].

Большинство работ по исследованию распространения, разнообразия и стрессового ответа МГЭ выполнено на модельных объектах, таких как дрозофила, кукуруза или дрожжи. Популяции морских беспозвоночных на предмет МГЭ изучены очень слабо, а имеющиеся сведения разрознены. Изучение разнообразия и представленности мобильных генетических элементов в популяциях животных Черного моря представляется актуальной задачей, которая позволит расширить знания о распространенности МГЭ среди морских организмов и получить новые сведения о их роли в геноме. Еще более значимым является исследование транспозиционной активности МГЭ в популяциях черноморских животных в условиях давления факторов антропогенного происхождения.

Блок 8 – Обработка и анализ данных дистанционного зондирования Земли из космоса для экологического мониторинга прибрежной зоны

Используя оперативные и архивные данные спутникового мониторинга, создаются фонды космических снимков прибрежной зоны Крыма. Для этого используются фонды снимков NOAA, фонд снимков TERRA, фонд снимков SPOT, фонд снимков LANDSAT, фонд снимков QuickBird. После анализа снимков, используя технологию наиболее известных и распространенных ГИС, обеспечивается топографическая привязка снимков и построение векторных локальных картографических моделей. Построенные модели позволяют оценить: температуру поверхности моря, соленость морской воды, пространственно-временное распределение фитопланктона, экологическое состояние участков побережья в местах размещения промышленных объектов и идентифицировать участки загрязнения моря нефтепродуктами.

Блоки 9, 10, 11 позволят разработать и предложить практические рекомендации обеспечения экологической безопасности населения в рекреационной зоне Черного моря

Постоянный рост антропогенных нагрузок на экосистемы прибрежных зон приводит к необратимым процессам истощения и ухудшения качества природ-

ных ресурсов, к более частому и масштабному проявлению кризисных экономико-экологических ситуаций в Черном и Азовском морях.

Результаты предложенного исследования в совокупности решают научные задачиразработки системы экологической оценки прибрежной зоны Черного моря, основываясь на принципах интегрированного подхода к управлению ресурсно-экологической безопасности Азово-Черноморского региона.

Прогноз развития экосистемы прибрежной зоны моря, защита ее от неблагоприятных природных и антропогенных процессов являются важнейшими задачами при освоении побережья. Выполнение данной работы позволит предложить комплексный подход к решению проблем использования прибрежных зон Крыма и наметить пути к развитию приоритетных направлений прибрежного менеджмента в РФ и приблизить их к Международному уровню.

Заключение. Предложенный подход к экологической оценке прибрежной зоны Крыма в системе интегрированного управления ресурсно-экологической безопасности прибрежной зоны позволит разработать практические рекомендации для управления качеством водной среды и эксплуатации прибрежных акваторий, а также для развития рекреации и туризма в Причерноморском регионе.

Участие биоты в процессе самоочищения позволяет целенаправленно использовать морские организмы в биомониторинге и в борьбе с загрязнением, а также для разработки гидробиологических систем очистки загрязненных морских вод.

Динамика параметров поля биолюминесценции *in situ* может быть использована для экспресс оценки функционирования водных экосистем.

Изучение транспозиционной активности мобильных генетических элементов даст возможность сделать прогноз относительно генетической стабильности популяций в условиях стрессорного давления антропогенного происхождения.

Авторы выражают благодарность и признательность д.б.н., профессору Олегу Глебовичу Миронову и д.б.н., профессору Юрию Николаевичу Токареву за ценные научные советы и замечания, консультации при разработке новых гипотез и требовательность к их апробации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рубцова С.И.* Экологические аспекты интегрированного управления прибрежной зоной Крыма. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. – 200 с.
2. *Konovalov S.M.* “Anthropogenic impact and ecosystems of the Black Sea”, CIESM Sci. Ser., 1. – 1995. – P. 53–83.
3. *Токарев Ю.Н.* Основы биофизической экологии гидробионтов. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2006. – 342 с.
4. *Tokarev Yu.N.* Bioluminescence of plankton organisms as an index of the neritic aquatoria pollution / Yu.N. Tokarev, P.V. Evstigneev, V.I. Vasilenko, O.V. Mashukova, N.V. (Burmistrova) Lyamina // Proceedings of the Eighth Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 07, 13 – 17 November 2007, Alexandria, Egypt, Middle East Technical University, Ankara, Turkey. – Vol. 2. – P. 925 – 936.
5. *Битюков Э.П., Евстигнеев П.В., Токарев Ю.Н.* Светящиеся *Dinoflagellata* Черного моря и влияние на них антропогенных факторов // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29. С. 27–34.
6. *Брянцев В.А., Брянцева Ю.В.* Многолетние изменения в фитопланктоне глубоководной части Черного моря в связи с естественными и антропогенными факторами // Экология моря. – 1999. – Вып. 49. – С. 24 –28.
7. *Георгиева Л.В.* Видовой состав и динамика фитоцена. В кн. под ред. Ковалёв А.В., Финанко З.З. Планк-

тон Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1993. – С. 205–207.
8. *Нарусевич Т.Ф., Токарев Ю.Н.* Фитопланктон и биолюминесценция в Средиземном море в летний период // Гидробиологический журнал – 1989. – 25, № 6. – С. 10–16.
9. *Tokarev Yu.N.* Influence of various dozes of gamma irradiation on Black Sea noctiluca bioluminescence. Interaction between water and alive substance: Proc. Inter. Symposium., Odessa, 6–10, Oct. 1979. M.: Vol. 2. – P. 38–41.
10. *Tokarev Yu. N., Bityukov E.P., Williams R., Vasilenko V.I., Piontkovski S.A. and Sokolov B.G.* The bioluminescence field as an indicator of the spatial structure and physiological state of the planktonic community at the Mediterranean sea basin / Yu. N. Tokarev, E.P. Bityukov, R. Williams [et al.] // Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. – 1999. – P. 407–416.
11. *Tokarev Yu.N.*, *Shulman G.E.* Biodeversity in the Black Sea: effects of climate and anthropogenic factors // Hydrobiologia, 2007. – P. 23–33.
12. *Нарусевич Т.Ф.* Взаимосвязь структуры планктона и биолюминесценции как метод биомониторинга Черного моря / Т.Ф. Нарусевич, В.Г. Шайда, П.В. Евстигнеев, В.В. Давыдов / В кн. под ред. В.И. Беляева. Экология и рациональное использование природных ресурсов южного региона Украины. – Севастополь, Изд-во МГИ НАНУ, 1985. – С. 273 – 276.
13. *Токарев Ю.Н.* Основы биофизической экологии гидробионтов. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2006. – 342 с.
14. *Патин С.А.* Химическое загрязнение и его влияние на гидробионтов. В кн.: Океанология. Биология океана. – Т.2. / под ред. М.Е. Виноградова. – М.: Наука, 1977. – С. 322–331.
15. *Гительзон И.И., Гладышев М.И., Дегерменджи Ф.Г.* Экологическая биофизика и её роль в изучении водных экосистем / И.И. Гительзон, М.И. Гладышев, Ф.Г. Дегерменджи [и др.] // Биофизика. – 1993. – 38, № 6. – С. 1069–1078.
16. *Гладышев М.И.* Основы экологической биофизики водных систем. – Новосибирск: Наука, 1999. – 113 с.
17. *Лямина Н.В.* Динамика параметров поля биолюминесценции в Чёрном море и их сопряжённость с факторами среды: дис. … канд. биол. наук. – Севастополь, 2014. – 133 с.
18. *Машукова О.В.* Биолюминесценция черноморских гребневиков-вселенцев как тест их физиологического состояния: дис. … канд. биол. наук. – Севастополь, 2011. – 183 с.
19. *Миронов О.Г.* Нефтеокисляющие микроорганизмы в море. – Киев, 1971. – 226 с.
20. *Миронов О.Г.* Наукові основи радяньського міжнародного проекту біологічного моніторінгу нафтового забруднення Средиземноморського басейну // Віснік АН УССР. – 1978. – 8. – С. 84–87.
21. Морская санитарная гидробиология / под общей ред. О.Г. Миронова: ИнБЮМ НАН Украины. – Севастополь, 1995. – 102 с.
22. *Битюков Э.П., Василенко В.И., Серикова И.М., Токарев Ю.Н.* Результаты и перспективы биолюминесцентных исследований в Чёрном море // Экология моря. – 1996. – № 46. – С. 19–24.
23. *Чересиз С.В.* Мобильные элементы и стресс / С.В. Чересиз, Н.Н. Юрченко, А.В. Иванников [и др.] // Информационный вестник ВОГиС. – 2008. – № 12 (1/2). – С. 217–242.
24. *Юрченко Н.Н.* Мобильные генетические элементы: нестабильность генов и геномов / Н.Н. Юрченко, Л.В. Коваленко, И.К. Захаров // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2011. – № 15 (2). – С. 261–270.
25. *Fontdevila A.* Hybrid genome evolution by transposition. Cytogenet. Genome Res. – 2005. – Vol. 110 (1–4). – P. 49–55.