

**СОВРЕМЕННОЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
Б. КРУГЛОЙ
(Г. СЕВАСТОПОЛЬ)**

*С.А. Ковардаков, А.В. Празукин,
В.В. Холодов, Н.Ю. Родионова*

Институт биологии южных морей
НАН Украины

г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: skovardakov@mail.ru

Показано, что б. Круглая обладает достаточным потенциалом для рекреационного использования, а ее донный фитоценоз обеспечивает утилизацию фосфора и азота, поступающих от отдыхающих. Экологическое состояние акватории вполне удовлетворительное. Проблемы качества воды в бухте возникают из-за скопления разлагающихся водорослей, заносимых в бухту течениями и не связаны с антропогенным воздействием.

Введение. Как показывает многолетний опыт использования побережий Крыма для отдыха, рекреационная составляющая в целом, оказывает на прибрежные экосистемы весьма существенное, а в местах массового отдыха, решающее отрицательное воздействие. Качество водной среды в прибрежных акваториях имеет первостепенное значение. Очень часто в его формировании макрофитобентос играет важную, а в ряде случаев – главную роль [1–3]. Мониторинг структуры донных фитоценозов, оценка их продукционных и самоочистительных характеристик, а также динамика гидрохимических параметров водной среды позволяют сделать выводы об экологическом состоянии и тенденциях изменения качества среды в исследуемых акваториях и вовремя исправить положение [4–6]. С каждым годом оценки динамических природных процессов и прогнозирование антропогенного воздействия на окружающую среду становятся все более актуальными и востребованными.

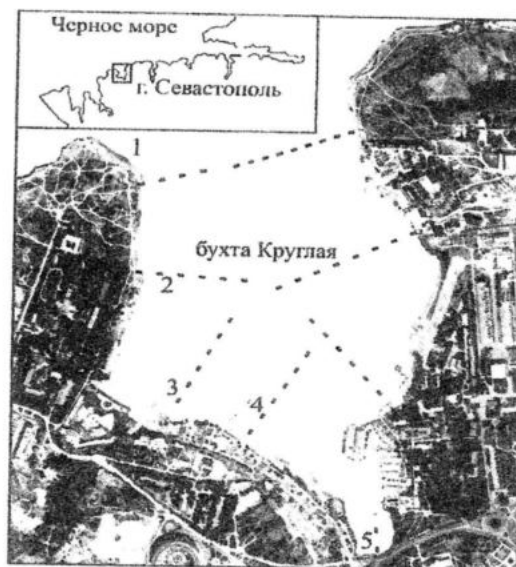
Работа является частью комплексного исследования макрофитобентоса в морских прибрежных акваториях с длительным антропогенным воздействием.

Цель исследований: по результатам гидрохимических анализов воды и

структурно-функциональным характеристикам макрофитобентоса бухты Круглой оценить ее экологическое состояние.

Следует отметить, что качеству воды в бухте и экологическому состоянию в ней уделяется внимание со стороны специалистов [7–9]. В большинстве случаев оценки проводились по пробам, взятым на входе в бухту, что не дает представления о бухте в целом. Мы провели исследование по всей бухте.

Материал и методика. Исследования проводились в акватории бухты Круглой (рис. 1).



1–5 – номера станций отбора проб воды;
пунктир – гидробиотические разрезы

Р и с. 1. Район исследований и участок отбора проб

Здесь расположен второй по величине и посещаемости пляж г. Севастополя, функционирующий более 40 лет. Рекреационная зона развивается, растет близлежащий жилой массив, нагрузка на акваторию постепенно увеличивается.

В бухту выведен аварийный сток канализационных вод, который функционировал до 1987 г. В настоящее время он закрыт, хотя за последние 15 лет было 3 аварийных выпуска, последний – в мае 2012 г., когда в бухту попало 10 м³ сточных вод. За долгие годы нагрузка на море в районе пляжа со стороны отдыхающих стабилизировалась, а на восточном берегу от вертолетного завода до входного мыса – выросла и продолжает расти.

Пробы макроводорослей отобраны по методике [10] в весенний, летний и осенний сезоны 2008 – 2010 гг. на стандартных гидробиотических разрезах учетной рамкой 25 × 25 см на глубинах 0,5; 1; 3; 5; 7; 9 и 13 м. По результатам съемок рассчитали их запасы.

Оценка экологического состояния акватории бухты основана на сопоставлении потенциальных самоочистительных характеристик водорослей с величинами поступления биогенных элементов из звена рекреации, а также с фондами азота и фосфора в водах бухты. Первое (сопоставление) – показывает степень химического антропогенного воздействия рекреации на природный обмен веществ фитоценоза, второе – время оборота биогенных элементов в акватории бухты за счет донной растительности. Расчет изъятия водорослями из воды минеральных форм фосфора и азота проводили по суточному приросту макрофитов [11] в акватории и содержанию азота и фосфора в водорослях [12]. Суммарная величина по бухте отражает самоочистительный потенциал фитоценоза. Выделение кислорода каждым видом рассчитывали по формуле:

$$P_i = 0,025 \cdot (S/W)_i^{0,8} \cdot V_i, \quad (1)$$

где P_i – величина выделения кислорода i -тым видом, $\text{г} \cdot \text{сут}^{-1}$; $(S/W)_i$ и V_i – удельная поверхность ($\text{мм}^2 \cdot \text{мг}^{-1}$) и сухая масса (г) i -того вида соответственно.

Фонды биогенных элементов в акватории рассчитывали по результатам гидрохимических анализов проб воды, отбираемых с пяти станций (рис. 1) ежемесячно в течение года, начиная с марта 2009 г. по февраль 2010 г.

По стандартным гидрохимическим методикам [13, 14] определяли следующие параметры: растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода на 5-е сутки (БПК₅), неорганические и органические формы азота и фосфора, перманганатную окисляемость.

Гидрохимическая обстановка. Рассмотрим динамику гидрохимических параметров вод бухты на примере наиболее показательных характеристик её экологического состояния.

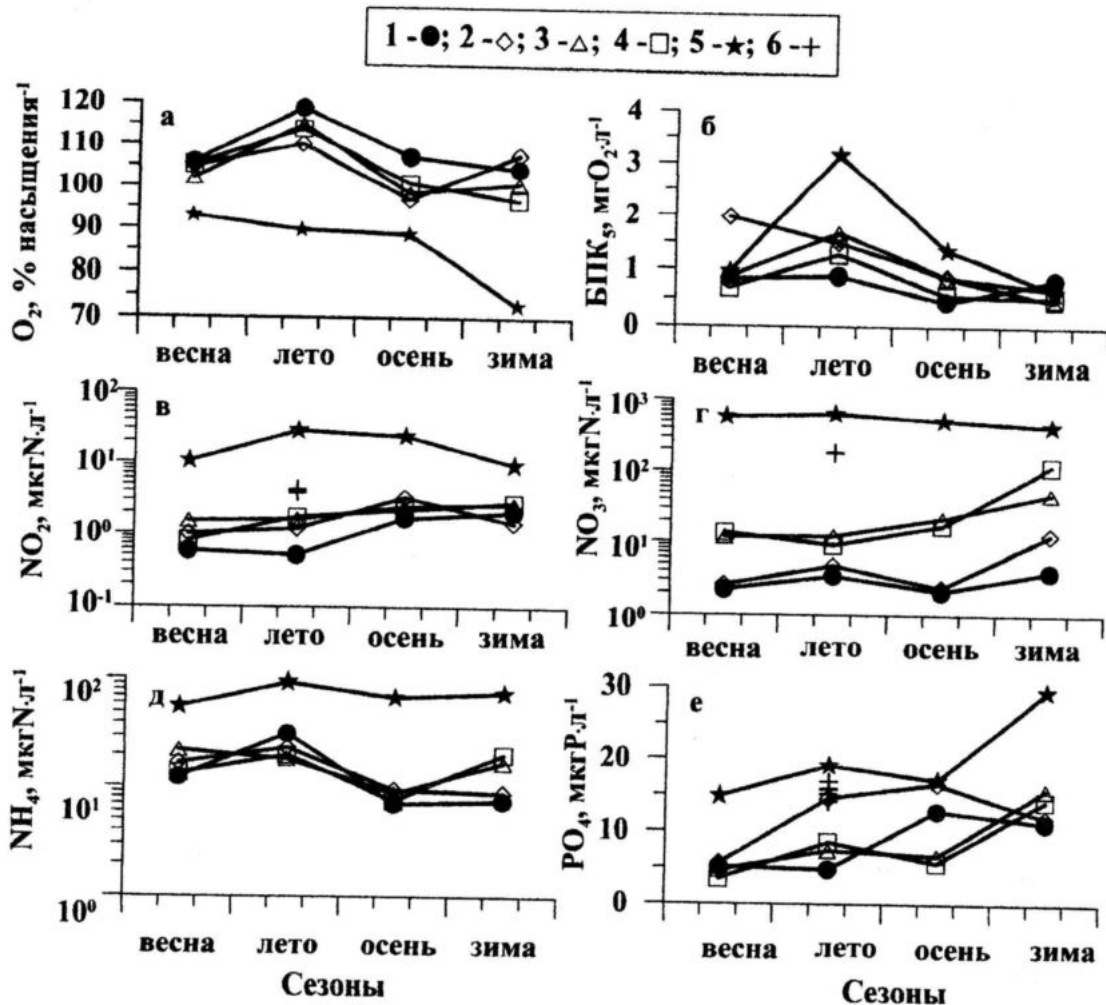
Растворенный кислород. Отмечается незначительное увеличение средних, за весь период исследований, величин абсолютного и относительного содержания кислорода с продвижением от кутовой части бухты к открытому морю (рис. 2 а). Насыщение кислородом на поверхности б. Круглой имеет высокие величины: в летнее время за счет процесса фотосинтеза насыщение достигает 132 %; зимой из-за низких температур также отмечается небольшое перенасыщение, в среднем до 102 %. Абсолютный максимум кислорода ($8,09 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ при 118,7 % насыщения) отмечен в апреле 2009 г. на станции № 2.

В кутовой части бухты наблюдается снижение абсолютного содержания кислорода во все сезоны года с минимумом ($4,17 \text{ мл/л}$) в сентябре. Тем не менее, даже здесь насыщение воды кислородом не ниже 70 %, что отвечает рыбохозяйственным нормам.

Величина рН. Минимальную величину рН – 8,18 наблюдали в мае на ст. № 5, максимальную – 8,73 на станциях №№ 2 – 4. Основной тенденцией распределения рН является понижение значений в мелководной кутовой части бухты и повышение на выходе из бухты.

Средняя величина рН по бухте за год – 8,4 вписывается в ПДК принятой для рыбохозяйственного водопользования. Превышение ПДК происходило в августе и сентябре. Это связано с интенсивным связыванием CO_2 в процессе фотосинтеза водорослей в результате которого высвобождаются ионы OH^- . В сравнении с июлем 1983 г., когда функционировал аварийный канализационный выпуск, современный уровень рН воды в бухте повысился на 0,3 единицы.

БПК₅. Средние величины БПК₅ по сезонам (рис. 2 б) свидетельствуют о том, что вода в бухте чистая, исключение составляет мелководная кутовая часть бухты, где средняя величина БПК₅ в летний сезон на 5% превышала ПДК по санитарно-гигиеническим и в 1,5 раза по рыбохозяйственным нормам. Более высокий уровень значений БПК₅ в летний сезон в отличие от зимнего сезона возникает из-за рекреационной нагрузки на акваторию бухты.



1– 5 номера и обозначения станций, 6 – данные июльской съемки 1983 г. по всем станциям (пояснения в тексте)

Р и с. 2. Сезонная динамика гидрохимических параметров вод б. Круглой

Средняя величина БПК₅ по бухте за год составила 1,18 мгO₂·л⁻¹, что в 1,7 раза ниже ПДК, принятой для рыбохозяйственного водопользования. В летний сезон она повысилась до – 1,49 мгO₂·л⁻¹. В течение года зафиксировано два случая превышения ПДК по данному показателю. Во время шторма 13 мая 2009 г. на ст. № 2 – 4,28 мгO₂·л⁻¹ и 14 июля 2009 г. – 5,87 мгO₂·л⁻¹ в кутовой части на ст. № 5. В обоих случаях в воде на этих станциях было большое количество отмерших и разлагающихся водорослей.

Нитриты. Концентрации нитритного азота в основной акватории бухты колеблются от 0 до 8,5 мкгN·л⁻¹, что характерно для прибрежных вод Черного моря. В кутовой части концентрация нитратов значительно выше и достигает в летнее время 40,3 мкгN·л⁻¹. Среднегодо-

вая концентрация нитритов в целом по бухте – 5,02 мкгN·л⁻¹, летом – 1,25 мкг·л⁻¹, в кутовой части 18,2 мкгN·л⁻¹ (рис. 2 в). Причиной повышенного содержания нитритов, по-видимому, явилось скопление отмершей массы макроводорослей, которая концентрируется в непроточной заводи кутовой части. Подтверждением этому служат также повышенные значения на этой станции окисляемости (6,38 мгO₂·л⁻¹), концентрации кремния (815 мкг·л⁻¹) и органического фосфора (24,4 мкг·л⁻¹). В противоположность содержанию растворенного кислорода отмечается снижение средних величин содержания нитритов с продвижением от кутовой части бухты к открытому морю. Отметим, что в летний сезон 1983 г., когда функционировал аварийный выпуск, концентрация нитритов была 4,21

мкгN·л⁻¹, т.е. в 3,4 раза превышала нынешнюю.

Нитраты. Содержание нитратного азота на поверхности б. Круглой претерпевает значительные колебания: от 0,7 до 981 мкгN·л⁻¹ при ПДК = 45 мгN·л⁻¹. Без кутовой части средняя концентрация нитратов в летний период составляли: 7,36 мкгN·л⁻¹, зимой – 46,8 мкгN·л⁻¹. В 1983 г. концентрация нитратов в летний сезон была в 24 раза выше – 181,5 мкгN·л⁻¹. Нитраты распределены по бухте неравномерно: с продвижением вглубь бухты концентрация нитратов в воде увеличивается рис. 2 г.

Аммонийный азот. Концентрация аммонийного азота на поверхности моря изменялась от 0 мкгN·л⁻¹ зимой (ст. №№ 1, 2) до 161 мкгN·л⁻¹ – летом (кутовая часть, ст. № 5). Средние по съемкам величины без кутовой части (рис. 2 д) несущественно различались и компактно изменялись по сезонам. Летом средняя концентрация составляла 23,3 мкгN·л⁻¹, зимой – 13,4 мкгN·л⁻¹. По бухте, в целом, концентрация аммонийного азота была значительно ниже ПДК по рыбохозяйственному водопользованию.

Фосфаты. В целом, концентрация фосфатов в поверхностном слое воды в течение года изменялась от 1,75 до 54 мкгP·л⁻¹. Средняя величина по бухте – 11,5 мкгP·л⁻¹. Если исключить кутовую часть, то содержание фосфатов составит 9,3 мкгP·л⁻¹. Такие величины характерны для прибрежной зоны Черного моря. Средние значения по сезонам года на станциях приведены на рис. 2 е. Следует отметить, что содержание фосфатов в акватории бухты значительно ниже ПДК. Летом 1983 г., когда еще функционировал аварийный канализационный выпуск с выходом в акваторию бухты, средняя концентрация фосфора фосфатов была на уровне 15,6 мкгP·л⁻¹ – в 1,4 раза выше современной.

Окисляемость. Перманганатная окисляемость, характеризующая содержание в воде легкоокисляемых органических веществ, измерялась с апреля по октябрь 2009 г. За этот период значения окисляемости колебались от 3,05 мгO₂·л⁻¹ на ст. № 4 в апреле, до 10,23 мгO₂·л⁻¹ в июне на ст. № 5. Средняя величина по бухте без кутовой части составила 4,8

мгO₂·л⁻¹, в мелководной кутовой части – 6,38 мгO₂·л⁻¹.

Значения выше 4 мгO₂·л⁻¹ свидетельствуют о повышенном содержании в водах бухты растворенных органических веществ (РОВ). По нашим представлениям основным источником РОВ является отмершая водорослевая масса, аккумулирующаяся и разлагающаяся в бухте.

Структурные характеристики макрофитобентоса. Около 90 % общих запасов донной растительности сосредоточено в высокопродуктивной зоне до глубины 5 м с максимумом в зоне глубин 1 – 3 м. Видовой состав макрофитобентоса б. Круглой и запасы представлены в табл. 1.

Приведенные данные показывают, что во все сезоны восемь видов (*C.sericea*, *C.barbata*, *C.crinata*, *Ceramium sp.*, *L.coronopus*, *P.subulifera*, *Z.marina* и *Z.noltii*) определяли 93–99 % всех запасов макрофитобентоса в бухте.

Основной вклад в запасы фитоценоза во все сезоны вносили бурые и красные водоросли. Доля бурых водорослей весной составляла 42 %, летом – 49 % и 47 % – осенью. Красных водорослей – соответственно, 24, 34 и 25 %. Отметим существенный вклад морских трав – зостер – 21, 20 и 23 % соответственно.

Функциональные характеристики макрофитобентоса. Результаты экологических исследований позволили рассчитать, в какой мере донная растительность бухты справляется с антропогенной нагрузкой и каким самоочистительным потенциалом она обладает.

Расчет изъятия биогенных элементов из воды и выделения кислорода (табл. 2) показал, что на современном этапе макрофитобентос бухты Круглой, в соответствии с сезоном года, способен изымать из воды за сутки 130 – 200 кг азота, 13 – 20 кг фосфора и выделять в воду более 25 – 38 т кислорода.

Используя данные учета количества одновременного пребывания отдыхающих на пляже в течение дня, сведения о поступлении азота и фосфора в воду от одного купающегося человека в день [15] и объем воды в бухте, рассчитали дневное поступление этих биогенных элементов в акваторию и их концентра-

Таблица 1

Видовой состав и запасы макрофитобентоса б. Круглой в разные сезоны года

Г аксоны	Запасы, т (сырой массы)		
	весна 2009 г.	лето 2008 г.	осень 2010 г.
CHLOROPHYTA			
<i>Cladophora sericea</i> (Huds.) Kütz.	20	12	59
<i>Ulva intestinalis</i> L.	29	14	-
<i>Ulva rigida</i> C. Ag.	4	8	-
RHAEOPHYTA			
<i>Cladostephus spongiosus</i> (Huds.) C. Ag.	36	15	-
<i>Cystoseira barbata</i> (Stackh.) C. Ag.	114	43	107
<i>C. crinita</i> Duby	311	300	195
<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillw.) Lyngb.	8	-	-
<i>Padinia pavonica</i> (L.) Thivy	1	1	-
<i>Stilophora tenella</i> (Esper) P.C. Silva	1	1	-
RHODOPHYTA			
<i>Ceramium</i> sp.	96	3	9
<i>Laurencia coronopus</i> J. Ag.	74	31	1
<i>Phyllophora crispa</i> (Hudson.) P.S. Dixon	13	17	3
<i>Polysiphonia subulifera</i> (C. Ag.) Harv.	44	235	119
ZOSTERACEAE			
<i>Zostera marina</i> L. + <i>Z. noltii</i> Hornem	199	174	144
Общие запасы по бухте:	949	854	637

Таблица 2

Соотношение фондов биогенных элементов акватории б. Круглой с поточными характеристиками донного фитопланктона

Поточные характеристики	Сезоны	Минеральный азот	Минеральный фосфор	Кислород*
		NO ₂ , NO ₃ , NH ₄	PO ₄	O ₂
Изъятие, кг·сут ⁻¹	Весна	200	20	7,6
	Лето	163	16	6
	Осень	131	13	5
Выделение, т·сут ⁻¹	Весна	-	-	38
	Лето	-	-	30
	Осень	-	-	25
Фонды химических элементов, кг	Весна	108	14,7	30,3
	Лето	146	32	25
	Осень	97	31,6	24,4
Время оборота, сут	Весна	0,5	0,7	1,0
	Лето	0,9	2,0	1,0
	Осень	0,7	2,4	1,2

*Примечание к таб. 2: по кислороду все расчеты приведены в тоннах

цию в воде. В табл. 3 приведены расчеты, сделанные для разного количества отдыхающих. Они показывают, что влияние отдыхающих на гидрохимиче-

скую обстановку в бухте незначительно, даже при одновременном пребывании здесь 10000 человек в течение дня, но таких нагрузок мы не наблюдали.

Таблица 3

Количество отдыхающих, одновременно пребывающих на пляже в течение дня, поступление от них азота и фосфора в воду во время купания и концентрации фосфора и азота в воде в летний сезон

Количество отдыхающих, чел	Дневное поступление биогенов в воду, кг·сут ⁻¹		Средние концентрации биогенов, мкг·л ⁻¹				Соотношение фактических и привносимых концентраций	
			Привносимые отдыхающими		Фактические			
	P	N	P	N	P	N	P	N
1000	0,19	1,52	0,07	0,52	8,8	31,8	132	61
2000	0,39	3,03	0,13	1,04	8,8	31,8	66	30
3000	0,58	4,55	0,20	1,57	8,8	31,8	44	20
4000	0,77	6,06	0,27	2,09	8,8	31,8	33	15
5000	0,97	7,58	0,33	2,61	8,8	31,8	26	12
10000	1,93	15,15	0,67	5,22	8,8	31,8	13	6

Следует отметить еще одну важную особенность, оказывающую существенное влияние на экологическую обстановку в бухте. В бухте скапливается большое количество оборванных от субстрата штормами и прибором макроводорослей, которые заносятся течениями из сопредельных акваторий. Какое-то время они продолжают функционировать, плавая в толще воды. В штилевую погоду они образуют скопления толщиной до 70 см в местах осадконакопления. При длительном отсутствии водообмена нижняя часть слоя начинает разлагаться, мы встречали скопления, из которых происходило газовыделение. Прибой и штормы выбрасывают обрывки водорослей на берег. На мелководье они перемалываются и разлагаются, что приводит к вторичному эвтрофированию.

В летнее время со штормовыми выбросами на берег через бухту выносятся около 900 т сырой массы макрофитов, а вместе с ней около 2,5 тонн азота и более 200 кг фосфора. В последние 3 года служба пляжа своевременно убирает и вывозит штормовые выбросы с городского пляжа. Качество воды в бухте улучшилось. Это подтвердила гидрохимическая съемка, о которой говорилось выше.

Заключение. Проведенные исследования показали, что весенние, летние и осенние запасы макрофитобентоса б. Круглой составляют соответственно 947, 853 и 635 т сырой массы. Фитоценоз бухты обладает высоким самоочистительным потенциалом, в зависимости от сезона года водоросли способны извлечь из воды за сутки 130 – 200 кг азота, 13 – 20 кг фосфора и выделить в воду более 25 – 38 т кислорода.

За счет штормовых выбросов в летнее время через бухту выносятся около 900 т сырой массы макрофитов, а вместе с ней более 2 тонн азота и около 300 кг фосфора.

В течение года большинство гидрохимических параметров находится в пределах величин, характерных для прибрежных вод Черного моря, которые не превышают ПДК, принятых для рыбохозяйственного водопользования. Напряженная обстановка периодически возникает в мелководной кутовой части бухты, где периодически происходит превышение ПДК гидрохимических параметров. Повышенная перманганатная окисляемость проб воды в разные сезоны года на большинстве станций свидетельствует о повышенном содержании в воде РОВ. Однако, это не связано с ан-

тропогенным воздействием, т.к. потоки вещества из звена рекреации существенно малы по сравнению с природными потоками. Наличие больших скоплений разлагающейся массы водорослей создает повышенное содержание РОВ в акватории бухты.

По сравнению с 1983 г., когда функционировал аварийный сток канализационных вод, экологическая обстановка в бухте улучшилась. В значительной степени это связано с прекращением сбросов в акваторию хозяйственных стоков и своевременной очисткой прибрежной полосы от штормовых выбросов.

Из вышесказанного следует, что бухта Круглая обладает достаточным потенциалом для рекреационного использования, а ее донный фитоценоз обеспечивает утилизацию фосфора и азота поступающего от отдыхающих. Общее экологическое состояние акватории бухты в современный период можно оценить как удовлетворительное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Weise G., Jorga W.* Aquatic macrophytes – a potential resource // *WHO Water Qual. Bull.* 1981. – 6, N 4. – P. 104 – 107.
2. *Хайлов К.М., Ковардаков С.А., Празукин А.В.* Балансовые условия поддержания качества морской среды в рекреационных акваториях // *Геополитика и экогеодинамика регионов.* – 2005. – Вып. 2. – С. 75 – 82.
3. *Ковардаков С.А., Фирсов Ю.К.* Донный фитоценоз в акватории черноморского рекреационного комплекса и его вклад в процессы самоочищения // *Системы контроля окружающей среды / Средства и мониторинг.* – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2008. – С. 421– 425.
4. *Хайлов К.М., Ковардаков С.А., Празукин А.В.* Обоснование выбора параметров для оценки состояния водных экосистем при их многочисленном использовании // *Водн. Ресурсы.* – 1986. – № 6. – С. 65 – 75.
5. *Brown V.B., Davies S.A., Synnot R.N.* Long-term monitoring of the effects of treated sewage effluent on the intertidal macroalgal community near Cape Schank, Victoria, Australia // *Botanica Marina.* – 1990. – 33. – P. 85 – 98.
6. *Ковардаков С.А., Ковригина Н.П., Измestьева М.А.* Донный фитоценоз в акватории от мыса Балаклавского до мыса Айя и его вклад в процессы самоочищения // *Системы контроля окружающей среды / Средства и мониторинг.* – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – С. 250 – 257.
7. *Губанов В.И., Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Родионова Н.Ю.* Диагноз качества вод Черного моря в районе г. Севастополя // *Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона : Мат. III Междунар. конф. 10–11 октября 2007 г. Керчь, 2008.* – С. 90 – 97.
8. *Губанов В.И., Стельмах Л.В., Клименко Н.П.* Комплексные оценки качества вод Севастопольского взморья (Черное море) // *Экология моря.* – 2002. – Вып. 62. – С. 76 – 80.
9. *Куфтаркова Е.А., Родионова Н.Ю., Губанов В.И., Бобко Н.И.* Гидрохимическая характеристика отдельных бухт Севастопольского взморья // *Труды ЮГНИРО, 2008.* – Т. 46. – С. 110 – 117.
10. *Калугина А.А.* Исследование донной растительности Черного моря с применением легководолазной техники // *Морские подводные исследования.* – М.: Наука, 1969. – С. 105 – 113.
11. *Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А., Рыгалов В.Е.* Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. – Киев: Наук. думка, 1992. – 280 с. *Барашков Г.К.* Сравнительная биохимия. – М.: Пищ. пром-сть., 1972. – 335 с.
13. *Сапожников В.В.* Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. – М.: ВНИРО, 1988. – 119 с.
14. *Орадовский С.Г.* Руководство по методам химического анализа морских вод. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 208 с.
15. *Schulz L.* Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene. I. Abt. Originale B 173.* 1981. – S. 528 – 548.