

О.Г. МИРОНОВ, Л.Н. КИРЮХИНА,
С.В. АЛЁМОВ

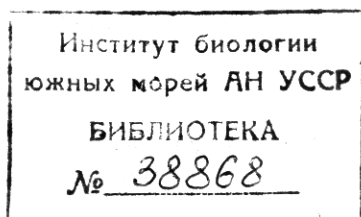
**САНИТАРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ
СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ
В XX ВЕКЕ**



**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ**

О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, С. В. Алёмов

**САНИТАРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ
СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ В XX ВЕКЕ**



Севастополь

2003 г.

УДК 574.52 + 574.632 + 551.3.051(262.5)

Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке / О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, С. В. Алемов; НАН Украины, Институт биологии южных морей. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003, - 185 с.

Монография посвящена исследованиям экологического плана, начало которым положил С. А. Зернов в 10-х годах прошлого столетия, и получившим развитие в последующие годы.

Подробно изложены результаты комплексных санитарно-биологических исследований севастопольских бухт, проводимых в последнюю четверть века. Особое внимание уделено анализу физико-химических показателей донных осадков, характеристике микробентоса и макрозообентоса. Рассмотрено влияние нефтяного загрязнения на биоту и ответная реакция гидробионтов на действие аллохтонных углеводов. Эти сведения дополнены данными по изучению оброста (макрозоо- и фитобентосные организмы) гидротехнических сооружений в условиях загрязненных бухт.

Натурные исследования в сочетании с экспериментальными представляют теоретическую основу для практического применения гидробиологических систем защиты от загрязнения и санации акватории Севастополя.

Утверждено к печати Ученым Советом Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины

Ответственный редактор: акад. НАНУ В. Н. Еремеев

Рецензенты:

доктор биол. наук Егоров В. Н. (Институт биологии южных морей)

доктор хим. наук Щекатурина Т. Л. (СНИЯЭП, эколого-технолог. факультет)

Ил. 41, Табл. 114, Библиогр.: 177 – 183 с. (89 назв.)

Для гидробиологов, океанологов, специалистов по охране природы.

Ключевые слова: морской донный осадок, микробентос, макрозообентос, фитобентос, углеводороды, нефтяное загрязнение.

© О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, С. В. Алемов, 2003

Санітарно-біологічні аспекти екології севастопольських бухт у ХХ столітті / О. Г. Миронов, Л. М. Кирюхіна, С. В. Альомов; НАН України, Інститут біології південних морів. – Севастополь: ЕКОСІ-Гідрофізика, 2003, - 185 с

Монографія присвячена дослідженням екологічного плану, початок яким поклав С. А. Зернов у 10-х роках минулого сторіччя, і получившим розвиток у наступні роки.

Докладно викладені результати комплексних санітарно-біологічних досліджень севастопольських бухт, проведених в останню чверть століття. Особлива увага приділена аналізу фізико-хімічних показників донних осадів, характеристиці мікробентосу і макрозообентосу. Розглянуто вплив нафтового забруднення на біоту і відповідна реакція гідробіонтів на дію аллохтонних вуглеводнів. Ці зведення доповнені даними по вивченню оброста (макрозоо- і фитобентосные організми) гідротехнічних споруджень в умовах забруднених бухт.

Натурні дослідження в сполученні з експериментальними представляють теоретичну основу для практичного застосування гідробіологічних систем захисту від забруднення і санації акваторії Севастополя.

Для гідробіологів, океанологів, фахівців з охорони природи.

Іл. 41, Табл. 114. Бібліографія: 177 – 183 с. (89 назв)

Sanitary-biological aspects of the Sevastopol bays ecology in XX century.
/ O.G. Mironov, L. N. Kirjukhina, S.V. Alyomov.

NAS of the Ukraine, the Institute of Biology of Southern Seas. – Sevastopol, 2003.
– 185 p.

The monography is dedicate to ecological researches a beginning with which has put S. A. Zernov in 10-th years of past century and received development the next years.

The results of complex sanitary - biological researches of the Sevastopol bays conducted in last quarter of century are in detail stated. The special attention is given to analysis of physical - chemical parameters of the bottom sediments, characteristic of microbenthos and macrozoobenthos.

The influence oil pollutions on a biota and answer-back reaction of hydrobionts to action of allochthonic hydrocarbons are considered.

These items of information are complemented by the data on analysis of fouling (macrozoo- and phytobenthic organisms) of hydrotechnical constructions in conditions of the polluted bays.

Natural researches in a combination with experimental represent a theoretical basis for practical application of hydrobiological systems of protection from pollution and sanitation of aquatoria of Sevastopol.

For the aquatic biologists, ecologists, experts in nature protection.

Fig. 41, Tab. 114, Bibl.: 177 - 183 p., (89 name).

Введение

К первым систематическим исследованиям в Севастопольской бухте можно отнести работы С. А. Зернова в период 1910 – 1911 гг., когда была составлена карта распределения биоценозов в Черном море у берегов Севастополя [20]. Однако С. А. Зернов во введении к этой работе пишет: "Печатанием настоящей работы, я думаю, что исполню хотя бы отчасти тот долг, который лежит на Севастопольской биологической станции в течение уже более сорока лет её существования. Карту распределения черноморской фауны в рейде составила, как известно по отчетам VIII-го съезда русских естествоиспытателей (1890 г.), С. М. Переяславцева, заведовавшая станцией с 1879 по 1891 гг., но никаких следов этой карты не сохранилось; не сохранились также её записи по периодическим явлениям в жизни Черного моря". Приступая к реализации задуманного плана описания биоценозов в Севастопольской бухте, Зернов С. А. отмечал, что изменение биоценозов происходит, главным образом, за счет волны и ветра, причем оно носит долгопериодный характер. Проведенные им наблюдения в районе открытых частей моря у Севастополя за 9 лет не выявили никаких существенных изменений. Но уже в тот период он вынужден констатировать "...существенное изменение вносит только человек своей деятельностью по устройству портов и "упорядочению" города", приводя в пример заливы и бухты на юге Франции. При этом С. А. Зернов отмечает, что в Черном море эта деятельность очень слаба и особенно мало касалась Севастополя: "...его прибрежные батареи, к которым запрещен доступ, защищают и прибрежную фауну". Этот феномен хорошо известен и в наше время. Некоторые районы, находящиеся в ведении министерства обороны (особенно наглядно это видно на примере просторов России) сохранили местную флору и фауну лучше, чем заповедники. В конце своей работы С. А. Зернов вновь пишет о интенсивном хозяйственном освоении различных участков севастопольских бухт. "Мы надеемся, однако, что все эти сооружения погубят различные биоценозы только в определенных районах, т.е. биоценозы определенных бухт; часть же берега, застроенная батареями, на долгое время останется совершенно свободной и при первоначальных условиях жизни. В данном случае крепостные пушки будут охранять и прибрежную фауну и флору".

После работы Зернова С. А. только в единичных исследованиях, посвященных Севастопольской бухте, затрагиваются вопросы её загрязнения. Они носят констатирующий характер и часто сохраняются в рукописном виде в отчётах Севастопольской биологической станции; как, например, в одной из работ 1929 г. отмечается, что бухта загрязнена отбросами города и судов. Несмотря на значительный собранный материал по зообентосу бухты, в том числе и на Севастопольской биологической станции, со времен выхода

в свет работы С. А. Зернова в 1913 г. в печати не появилось ни одной обобщающей работы [8]. К концу 30-х годов под влиянием антропогенного фактора уже наблюдается далеко зашедший процесс изменения местной фауны. Это заставляет исследователей искать самый обычный биологический материал за пределами бухты. Ещё более затруднено в таких условиях проведение экспериментальных работ не только лабораторного типа, но и в море вблизи станции. В 1938 г. для создания базы выбрана мало затронутая деятельностью человека Ярылгачская бухта, расположенная в Каркинитском заливе на северо-западном побережье Крыма [7]. Вопреки очевидным фактам вредного влияния загрязнения на морские организмы, работы в этом направлении в Севастопольской бухте не проводились, что было следствием общих тенденций развития морских санитарно-биологических исследований в отличие от подобных работ на пресноводных водоёмах. На международной конференции по научным исследованиям в области загрязнения водоёмов и очистке сточных вод, состоявшейся в Лондоне в сентябре 1962 г., констатировалось, что санитарно-биологические исследования на море находятся в начальной стадии развития. На первом Всесоюзном съезде гидробиологов в 1965 г. из 410 докладов только два в какой-то мере касались вопросов морской санитарной гидробиологии.

На Черном море такая ситуация была обусловлена исторически сложившимся основным научным направлением Севастопольской биологической станции, а затем и Института Биологии Южных морей — изучением биологической продуктивности. Однако, понимая необходимость учитывать влияние антропогенного фактора на жизнь в море и формулируя в 1963 г. будущие пути развития научных исследований института, В. А. Водяницкий (директор ИнБЮМ) назвал одним из новых направлений, требующих активного развития, санитарную биологию моря [13]. Благодаря его поддержке в 1964 г. в ИнБЮМе была создана первая в СССР лаборатория морской санитарной гидробиологии, преобразованная в 1971 г. в отдел. В понятие "санитарный" вкладывалось значение латинского слова "sanitas" — здоровье. Было сформулировано генеральное направление работ: "Взаимодействие морских организмов и их сообществ с загрязнением", которое подразделялось на две взаимосвязанные ветви:

1. Изучение влияния загрязнения на морские организмы и их сообщества.
2. Роль морской биоты в трансформации загрязняющих веществ, т.е. участие морских организмов в процессах самоочищения.

Таким образом, закладывалась идеология будущих исследований, напрямую не связанная с работами традиционных структурных подразделений института. Основное отличие заключалось в том, что биологические формы, начиная от бактерий и заканчивая рыбами, а также морская вода и донные осадки рассматривались не как объект исследований, а как метод оценки со-

стояния качества морской среды. Проведение таких работ потребовало изучения, наряду с биологическими, физико-химических параметров морской воды и донных осадков. Последнее было особенно важно, поскольку все виды загрязнений (особенно в прибрежной зоне до глубин 100 м) со временем мигрируют на дно и накапливаются в донных осадках, а затем могут опять возвращаться в воду, приводя к вторичному загрязнению.

Полевые работы были неразрывно связаны с экспериментальными исследованиями на материалах Севастопольской бухты (морские организмы, донные осадки). Подобный комплекс позволил более детально изучать сложные взаимодействия биоты с загрязнением, в первую очередь с нефтяным. На большом материале, взятом из Севастопольской бухты (планктон, бентос, нектон), были получены данные по влиянию нефти на морские организмы.

Деструкционная часть касалась изучения численности, закономерности распространения, а в дальнейшем - биохимических особенностей микроорганизмов, способных использовать нефтяные углеводороды в качестве единственного источника углеводорода и энергии.

Подчеркнем, что при определении биохимических особенностей нефтеокисляющих микроорганизмов изучалась их способность окислять органические вещества основных классов (белки, липиды, углеводы и их производные). Поэтому фактически охватывался весь процесс бактериальной деструкции органического вещества как основной фактор самоочищения в море.

В настоящей монографии этому направлению посвящены материалы по севастопольским бухтам, хотя такими работами были охвачены акватории Черного, Азовского, Средиземного, Баренцева морей, а также Тихого, Индийского, и Атлантического океанов.

В изложении материала мы пытались придерживаться определенного хронологического плана, показывая тем самым развитие систематических санитарно-биологических исследований от их возникновения до настоящего времени. Данные до 2000 г. представлены в обобщенном виде. Результаты съемки севастопольских бухт в 2000 г. даны подробно, т. к. фактический материал по ней практически не опубликован и приведенные материалы могут стать отправной точкой для исследований в XXI веке. Следует отметить, что в последние годы вопросы загрязнения севастопольских бухт стали занимать все больший объем исследований в отделах ИнБЮМа, а также других научных учреждений города. Однако, чтобы сохранить целостность нашего подхода к решению проблемы взаимодействия морских организмов с загрязнением, эти работы в настоящей монографии не анализируются.

В список литературы авторы не включили значительную часть публикаций, ранее обобщенных в монографиях, на которые делаются ссылки в настоящей работе.

Часть I Санитарно-биологические исследования акватории Севастополя

Глава 1. Микрофлора морской воды

Исторически вопросы загрязнения морской среды рассматривались с точки зрения влияния этого фактора на здоровье населения. Поэтому основной упор делался на изучение микроорганизмов, свидетельствующих о загрязнении морской воды хозяйственно-фекальными стоками. В первые послевоенные годы на Севастопольской биологической станции изучалось выживание микробов кишечного-тифозной группы в воде Севастопольской бухты, а также отработывались методы санитарно-бактериологических исследований в море [31].

В последующем, весной – летом 1962 г. [64] были отобраны пробы в 10 пунктах акватории севастопольских бухт, охватывающие пляжные зоны и места стоянки судов (табл. 1.1).

Таблица 1.1 Санитарные показатели морской воды

Пункты наблюдения	Коли-титр	Микробное число
Пляжная зона		
1	0,1 - 0,01	880 - 4000
2	10,0 - 0,01	130 - 1600
3	10,0 - 0,1	24 - 1600
4	1,0 - 0,1	240 - 640
Стоянки судов		
1	5,0 - 0,02	20 - 520
2	0,01 - 0,001	1720 - 3200
3	0,1 - 0,01	5 - 170
4	0,1 - 0,0001	52 - 4480
5	0,01 - 0,03	1600 - 6420
6	10,0 - 0,01	78 - 890

Приведенные данные со всей очевидностью свидетельствовали о загрязнении акватории района Севастополя хозяйственно-бытовыми стоками, уровень которых превышал предельно-допустимые концентрации (ПДК) для человека в сотни раз. О возможном влиянии этого вида загрязнения на биоту Севастопольской бухты можно было судить косвенно (поскольку прямых наблюдений не проводилось) по данным, полученным в других районах Черного моря, в частности, Новороссийской бухте [82]. Однако в некоторых случаях санитарно-микробиологические и

санитарно-химические исследования имели прямое отношение к оценке влияния хозяйственно-бытовых стоков на морские организмы. Такие работы были проведены в бухте Казачьей, входящей в систему севастопольских бухт, в связи со строительством океанариума и возможным влиянии загрязнения на дельфинов.

На первых этапах исследований основное внимание уделялось общим санитарно-гигиеническим показателям качества морской воды, которые, на

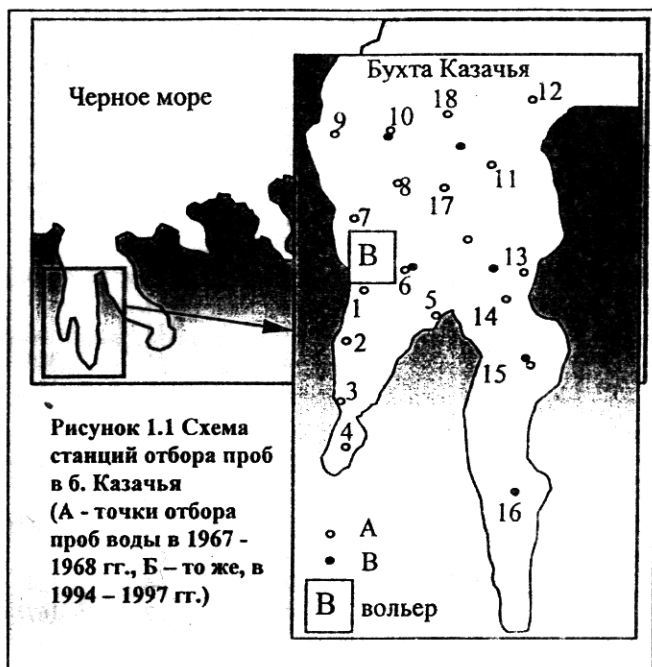


Рисунок 1.1 Схема станций отбора проб в б. Казачья (А - точки отбора проб воды в 1967 - 1968 гг., Б - то же, в 1994 - 1997 гг.)

наш взгляд, являлись приоритетными для характеристики среды обитания морских млекопитающих.

На рис. 1.1 даются точки отбора проб морской воды в б. Казачья, а на берегу обозначены объекты - потенциальные источники загрязнения акватории хозяйственно-бытовыми сточными водами на тот период времени. Результаты представлены в табл. 1.2. На

всех станциях выделялись грам-положительные палочки, в большинстве случаев спороносные.

Гемолитический стрептококк выделялся с поверхности на ст. 3, 4, 6, и 15. По величинам коли-титра вода в бухте соответствовала санитарным нормам для акваторий пляжей.

Результаты бактериологических исследований подтверждались данными санитарно-химического анализа - биохимического потребления кислорода за пять суток (БПК₅) на ряде станций в районе вольера (табл. 1.3).

Известно, что гидрометеорологические факторы оказывают существенное влияние на санитарные показатели морской воды [49]. В этой связи были проведены исследования как в самом вольере, так и вблизи него, в направлении к вершине бухты при сгонных и нагонных ветрах (табл. 1.4). Нумерация станций соответствует рис. 1.1. Как видно из приведенных данных, при нагонном ветре бактериологические показатели бухты ухудшаются, что объясняется концентрацией загрязнений, попадающих из береговых источников. Подобное явление отмечалось в других акваториях Крыма [48].

Важным фактором, влияющим на жизнедеятельность морских млекопитающих, может служить химическое загрязнение морской среды, в частности нефтепродуктами. В период выбора акватории для строительства

Таблица 1.2 Результаты бактериологической съемки акватории б. Казачья

№ станции	Горизонт отбора проб	Коли-титр	Микробное число	№ станции	Горизонт отбора проб	Коли-титр	Микробное число
1	1	8	375	10	1	111	34
	2	9	238		2	111	34
2	1	38	1534	11	1	111	78
	2	28	725		2	111	31
3	1	4	569	12	1	111	63
	2	9	624		2	111	87
4	1	4	441	13	1	111	55
	2	7	338		2	16	384
5	1	10	220	14	1	8	158
	2	11	84		2	14	114
6	1	13	156	15	1	3	102
	2	38	269		2	10	148
7	1	66	174	16	1	10	122
	2	666	51		2	4	66
8	1	66	189	17	1	3	138
	2	111	51		2	66	124
9	1	66	101	18	1	22	167
	2	38	29		2	27	132

Таблица 1.3 БПК₅ и содержание нефтепродуктов (НП) в морской воде б. Казачья

№ станции	БПК ₅	НП, мг/л
1	2,0	0,25
2	1,65	0,12
3	1,73	0,08
4	1,30	0,10
5	1,50	0,20
6	2,34	0,30
7	-	0,07

Таблица 1.4 Микробное число при различных гидрометеорологических показателях в районе вольера

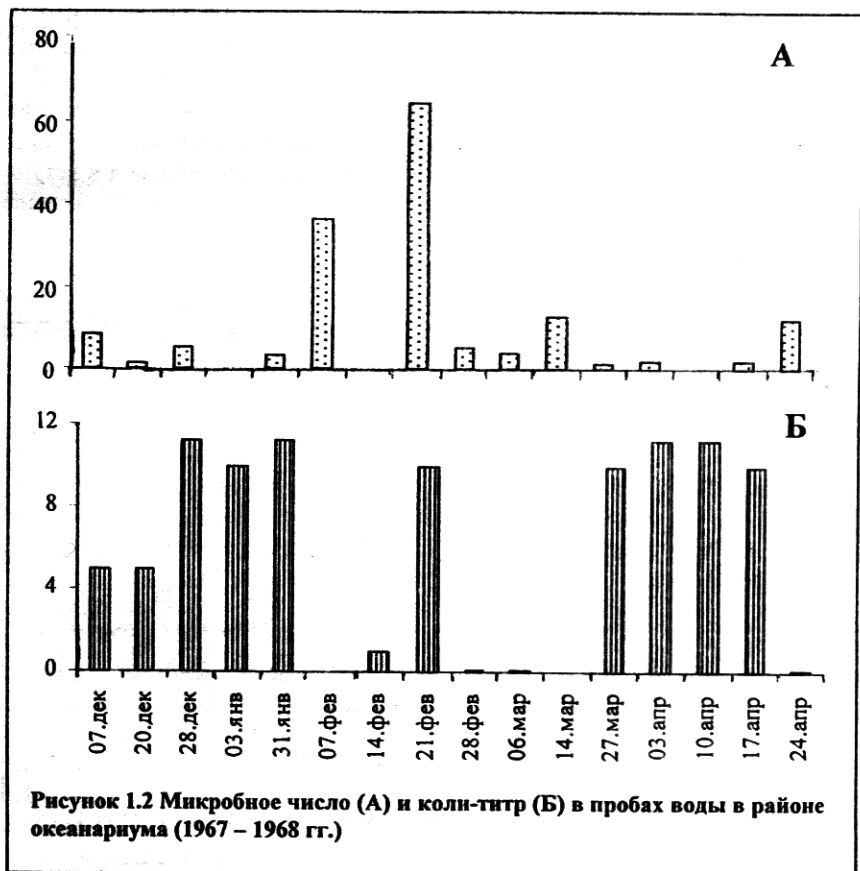
№ станции	Условия	Микробное число
вольер	Сгонный ветер	33
	Нагонный ветер	88
1	Сгонный ветер	5
	Нагонный ветер	472
2	Сгонный ветер	4
	Нагонный ветер	2100
3	Сгонный ветер	5
	Нагонный ветер	-

океанариума фактор нефтяного загрязнения рассматривался и свидетельствовал не в пользу размещения объекта в б. Казачья. Указывалось на постоянное загрязнение севастопольских бухт нефтепродуктами, откуда они могли попадать и в б. Казачью, а также на возможное усиление его в связи со строительством вблизи от океанариума рыбного порта. Однако, отсутствие прямых данных о непосредственном влиянии нефти на дельфинов, а также ряд дру-

гих причин (в том числе, социальная) склонили к строительству океанариума в данном месте.

Данные табл. 1.3 свидетельствуют о большой пятнистости в распределении нефтепродуктов на сравнительно небольшой площади акватории бухты, с колебаниями зафиксированных показателей от минимальных к максимальным, различающихся в четыре раза. Ориентирование на нормативные показатели для пресных вод - 0,1 мг/л (в то время не были разработаны нормативы для морских вод, и на них распространялись нормативы пресных вод), показало превышение нормы примерно на половине станций.

Таким образом, получены исходные данные о санитарном состоянии акватории, где началось строительство океанариума. В целом их можно было оценить, как удовлетворительные, однако, последующие наблюдения, проведенные непосредственно у вольеров (рис. 1.2), свидетельствуют о значитель-



ном колебании коли-титра в пределах этой акватории (от 11 до 0,007) и микробного числа от 0 до 365. Если взять за норму принятую законодательством величину коли-титра (0,1), то вода удовлетворяла требованиям примерно в 50 % случаев. Следовательно, в половине случаев загрязнение морской воды превышало допустимую норму, а в ряде случаев было весьма интенсивным (коли-титр 0,01 – 0,007). Последнее подтверждается данными по БПК₅ (рис. 1.3).

Изучение численности и высеваемости бактерий кишечной группы в морской воде позволило судить о взаимодействии аллохтонной и автохтонной микрофлоры, что дало материалы к оценке самоочищающей способности морской воды.

Таким образом, сброс загрязняющих веществ со сточными водами вносит массу органического материала, который оказывает негативное влияние на морскую биоту опосредованно, через создание дефицита кислорода. В то же время, находящиеся в составе сточных вод различные токсиканты оказывают непосредственное токсическое воздействие на организмы моря. Кроме того, в морскую воду вносится большое количество разнообразной микрофлоры. Попадая в иные условия обитания, наземные микроорганизмы теряют присущие им функции по разрушению органики сточных вод и вступают в конкуренцию с автохтонной микрофлорой. В целом же аллохтонная микрофлора довольно быстро (относительно!) погибает в море. Но этого времени бывает достаточно для заражения людей при контакте с загрязненной морской водой. Аллохтонная микрофлора может мигрировать в донные

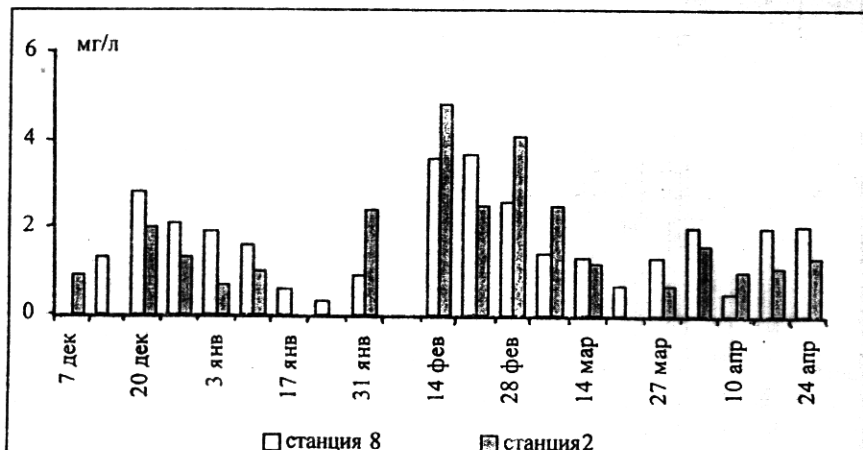


Рисунок 1.3 БПК₅ в пробах воды в районе оксанаариума (1967–1968 гг.)

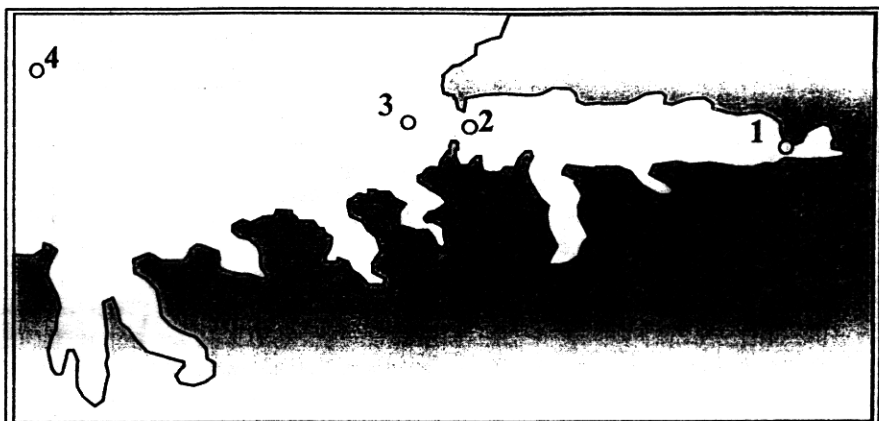


Рисунок 1.4 Схема станций на разрезе по оси Севастопольской бухты (1966 – 1967 гг.)

осадки, а затем вновь попадать в морскую воду при взмучивании донных отложений.

Коли-титр (коли-индекс) широко используется в санитарно-гигиенических исследованиях для оценки загрязнения водоемов хозяйственно-фекальными сбросами. Определение же микробного числа практически исчезло из санитарно-гигиенической практики. В то же время именно этот показатель даёт наибольшую информацию при оценке взаимодействия аллохтонной и автохтонной микрофлоры, т. к. охватывает численность практически всей группы гетеротрофных аллохтонных бактерий, попадающей в море. Кроме того, микробное число косвенно характеризует наличие в море органических веществ наземного происхождения [52].

В связи с тем, что одним из основных загрязнителей морской среды являются нефть и нефтепродукты, важная роль в санитарно-биологических исследованиях отводится изучению микроорганизмов, способных использовать углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода и энергии.

В 1966 - 1967 гг. впервые проводились систематические сезонные наблюдения за численностью нефтеокисляющих бактерий на разрезе по оси Севастопольской бухты. Станция № 1 находилась в глубине бухты, станция № 2 – у выхода из бухты, станция № 3 – на расстоянии полмили от второй станции и станция № 4 – далее в сторону моря на расстоянии 10 миль (рис. 1.4). Такое расположение станций позволяло проследить за численностью и видовым составом микроорганизмов, растущих на нефтепродуктах в акваториях, имеющих различную степень нефтяного загрязнения [48].

Таблица 1.5 Видовой состав бактерий, способных расти на нефти

Вид бактерий	Число культур	Вид бактерий	Число культур
<i>Pseudobacterium bifforme</i>	5	<i>Achromobacter ambiguus</i>	1
<i>Ps. brevis</i>	1	<i>Ac. desmolyticum</i>	1
П/вид <i>Ps. lacunatum</i>	1	<i>Ac. fermentationis</i>	1
<i>Ps. cocciformis</i>		<i>Ac. tiogense</i>	2
П/вид <i>Ps. lactis brevis</i>	3	<i>Ac. ubiquitum</i>	1
<i>Ps. erythrogloum</i>	1	<i>Bacterium aerophilum</i>	1
<i>Ps. funduliformis</i>	1	<i>Bact. album</i>	8
П/вид <i>Ps. caviae</i>	7	П/вид <i>Bact. aquamarinum</i>	1
П/вид <i>Ps. influenzaeformis</i>	10	П/вид <i>Bact. pinnatum</i>	1
<i>Ps. furcosum</i>	22	П/вид <i>Bact. guttatum</i>	3
П/вид <i>Ps. thetaiotomicon</i>	4	П/вид <i>Bact. ureum</i>	6
<i>Ps. halomophilum</i>	5	<i>Bact. aliphaticum</i>	1
<i>Ps. marinopiscosum</i>	7	П/вид <i>Bact. aliphaticum</i>	
<i>Ps. methylicum</i>	1	<i>liquefaciens</i>	3
<i>Ps. ovatum</i>	5	<i>Bact. candicans</i>	1
П/вид <i>Ps. vescum</i>	1	П/вид <i>Bact. rodonatum</i>	1
<i>Ps. rosea-album</i>	2	<i>Bact. cycloclastes</i>	4
<i>Ps. smaragdino-pho-</i>	1	<i>Bact. halophilum</i>	2
<i>sphorescens</i>		<i>Bact. liquefaciens</i>	
<i>Micrococcus albus</i>	1	П/вид <i>Bact. delicatulum</i>	
<i>M. sphaeroides</i>		<i>Bact. sulfureum</i>	1
П/вид <i>M. piltonensis</i>	1	<i>Bact. thalassium</i>	1
<i>Sarcina lutea</i>	1	П/вид <i>Bact. hydrosul-</i>	
<i>Pseudomonas desmolyticus</i>	5	<i>fureum ponticum</i>	
П/вид <i>Ps. arvilla</i>	3	<i>Vibrio adaptatus</i>	1
П/вид <i>Ps. cruciviae</i>	2	<i>V. albis</i>	1
П/вид <i>Ps. dacunhae</i>	7	<i>V. aquatilis</i>	1
П/вид <i>Ps. rathonis</i>	3	<i>V. cuneatus</i>	1
<i>Ps. liquefaciens</i>	1	П/вид <i>V. neocistes</i>	3
П/вид <i>Ps. coadunata</i>	1	<i>V. percolans</i>	2
П/вид <i>Ps. maidis</i>	3	П/вид <i>V. anqustatus</i>	8
П/вид <i>Ps. marinoglutinosa</i>	1	П/вид <i>V. portuensis</i>	2
<i>Ps. luquida</i>	3	<i>Spirillum tenue</i>	1
П/вид <i>Ps. fairmountensis</i>	1	П/вид <i>Sp. virginianum</i>	3
<i>Ps. radiobacter</i>	1	<i>Bacillus solidus</i>	1
<i>Ps. sinuosa</i>	20	П/вид <i>Bac. pseudo-</i>	
П/вид <i>Ps. ambigua</i>	7	<i>solidus</i>	1

Большинство нефтеокисляющих микроорганизмов выделялось в летние месяцы, чему способствовала, по всей видимости, более высокая температура морской воды. Численность микроорганизмов, способных расти на углеводородах нефти, была примерно одинакова на первых трех станциях и составляла, в среднем, для зимних месяцев - 100 клеток, для летних - 1000 - 100000 клеток в 1 мл. На станции 4 количество этой группы микроорганизмов было на 2 - 3 порядка меньше, что связано с уровнем нефтяного загрязнения.

Одной из разновидностей углеводородного загрязнения морской среды являются фенолы - высокотоксичные для морской флоры и фауны соединения. В связи с этим проводилось изучение фенолоокисляющих бактерий в морской воде на том же разрезе, на 9 точках, 6 из которых находились в пределах бухты. Одновременно в морской воде определяли содержание фенолов. Результаты представлены в табл. 1.6.

Всего было выделено 94 культуры фенолоокисляющих микроорганизмов, отнесенных к 40 видам.

Наряду с целенаправленным выделением из морской воды нефтеокисляющих и фенолоокисляющих микроорганизмов была изучена способность роста на нефтепродуктах некоторых микромицетов, выделенных из воды Севастопольской бухты.

Необходимо отметить, что первые работы на Черном море по изучению микофлоры были связаны с заболеванием и исчезновением морской травы *Zostera marina* [71]. На роль грибов в круговороте веществ в Черном море, особенно в удержании органического вещества в окисленной зоне, указывала

Н. В. Морозова-Водяницкая [70, 72]. Однако разрушению углеводородной составляющей органического вещества микромицетами, выделенными из Черного моря, практически не уделялось должного внимания, что видно из монографического обобщения [9].

Отбор проб воды проводился на акватории нефтегазани, расположенной в глубине Севастопольской бухты. Учитывая важность контактной зоны "суша-море" в санитарно-биологическом плане [57], были также отобраны пробы песка на

Таблица 1.6 Фенол и фенолоокисляющие бактерии в морской воде

№ станции	Фенол, мг/л	Фенолоокисляющие бактерии, кл/л
1	0,008	2389
2	0,008	2380
3	0,009	2300
4	0,009	2300
5	0,01	2300
6	0,003	161
7	0,004	52
8	Ниже чувствительности метода	52
9	Ниже чувствительности метода	38

границе заплеска и пробы почвы в 2 – 10 м от уреза воды. Всего было выделено 6250 колоний грибов. Из них в чистую культуру – 256 штаммов: вода – 66, донные осадки – 67, песок – 39, почва – 84. Идентификация культур проводилась до рода. Результаты наблюдений представлены в табл. 1.7.

Чаще других встречались роды *Aspergillus* и *Penicillium*. Значительно го разнообразия родов не наблюдалось: в морской воде – 14, в почве и в песке, соответственно, 10 и 9 родов. Видовой состав микромицетов рода *Aspergillus* включал 11 видов, из которых 7 высевались из почвы, 6 – из воды и 1 – из песка в районе заплеска.

Результаты сезонных наблюдений за численностью проростков грибов в морской воде показали наличие трех пиков увеличения их численности. Первый пик приходился на апрель, второй (двойной) – на середину и конец лета, третий пик, более высокий, приходился на зимние месяцы. В районе заплеска отмечен пик роста проростков в летние месяцы.

Наряду с сезонным изучением микофлоры акватории нефтегавани были проведены одномоментные съемки в других акваториях – бухтах Камышовая и Балаклавская. В составе грибной флоры выделены культуры микромицетов, отнесенные к 13 родам, причем на всех биотопах (почва, песок, вода) встречались роды *Penicillium* и *Aspergillus*. Штаммы этих грибов наиболее активно росли на соляре и мазуте.

Известно, что в первую очередь при бактериальном окислении нефте-

Таблица 1.7 Встречаемость грибов в различных субстратах нефтегавани, % от взятых проб

Род	Вода	Почва	Песок
<i>Mucor</i>	20	50	20
<i>Aspergillus</i>	80	100	440
<i>Cephalosporium</i>	40	30	-
<i>Gliocladium</i>	10	10	10
<i>Penicillium</i>	80	100	90
<i>Trichoderma</i>	30	10	-
<i>Fusarium</i>	10	20	20
<i>Chaetomium</i>	10	-	-
<i>Botrytis</i>	10	-	10
<i>Monilia</i>	10	-	-
<i>Cladosporium</i>	60	60	40
<i>Trichosporium</i>	10	-	20
<i>Stemphylium</i>	10	10	10
<i>Acremonium</i>	-	20	-

Примечание: «-» - отсутствие данного рода

продуктов в море идет потребление парафинов. Окисление грибами парафинов в соляре (потеря массы по сравнению с контролем) происходило на 80-90 %, в мазуте же эта величина достигала 100 %. Для оценки изменений в структуре парафинов было проведено дальнейшее изучение материала методом газожидкостной хроматографии. Полученные данные проясняют картину. Так, в мазуте произошло практически полное поглощение изопреноидных алканов (iC_{13} - iC_{21}) и большинства нормальных парафинов. Из их диапазона (nC_{14} - nC_{27}) остались алканы

Таблица 1.8 Качественная характеристика культур микромицетов

Субстрат	Число культур	Характеристика роста	
		очень хороший	хороший
Бензол	7	4	3
Толуол	8	5	3
Пара-ксилол	2	1	1
Мета-ксилол	5	1	4

изопrenoидный iC_{18} . Таким образом, можно судить, за счет каких индивидуальных алканов происходило наибольшее количественное изменение окисляемого субстрата. Однако, причину в разнице потребления микромицетами парафиновой фракции, полученной после окисления мазута и соляра, пока определить трудно.

Наряду с ростом на традиционных источниках нефтяного загрязнения морской воды – дизельном и котельном топливе, о чем говорилось выше, некоторые культуры грибов вырастали на бензоле, толуоле, пара- и мета-ксилоле (табл. 1.8). Многие культуры при своем росте на этих субстратах давали спороношение.

Значительный интерес вызывает возможность утилизации микромицетами ароматических компонентов дизельного и котельного топлива (табл. 1.9). Отмечено различие в интенсивности потребления моноароматических соединений различными культурами. Примерно та же картина наблюдалась и с биароматическими соединениями. При этом, как и с моноароматикой, активность культур, растущих на соляре, была выше.

Отмечено большое разнообразие в активности культур грибов по потреблению углеводов сырой нефти. Наиболее активные штаммы могли потребить свыше 90 % алканов.

Таблица 1.9 Содержание ароматических соединений в мг на 1 мг исходной пробы топлива

№ культуры	Рост на соляре		Рост на мазуте	
	моноароматика	биароматика	моноароматика	биароматика
Контроль	0,031	0,009	0,004	0,005
1	0,034	0,004	0,002	0,001
2	0,026	0,006	0,005	0,005
3	0,016	0,01	0,003	0,003
4	0,002	0,002	0,003	0,003
5	0,002	0,002	0,002	0,003
6	0,004	0,003	0,003	0,001
7	0,004	0,003	0,002	0,001

Институт биологии южных морей АН УССР

БИБЛИОТЕКА

№ 38868

nC_{15} – nC_{18} . В соляре, наоборот, в большинстве случаев сохранились все первоначально определенные изо- и нормальные алканы, за некоторым исключением, когда из всего диапазона (nC_{13} – nC_{23} и iC_{14} – iC_{20}) остались нормальные алканы nC_{13} – nC_{18} и один

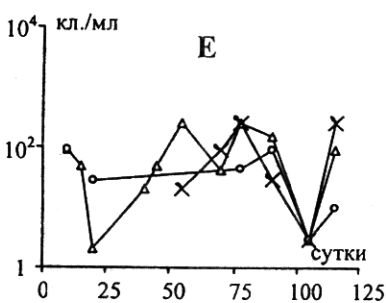
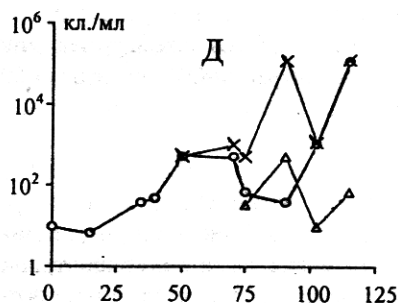
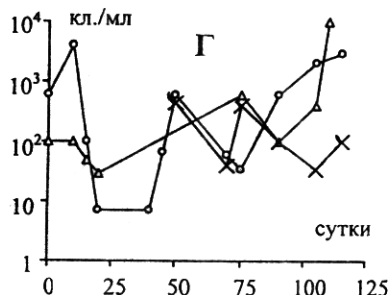
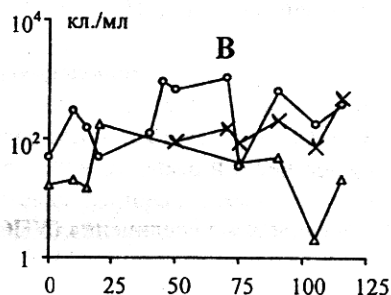
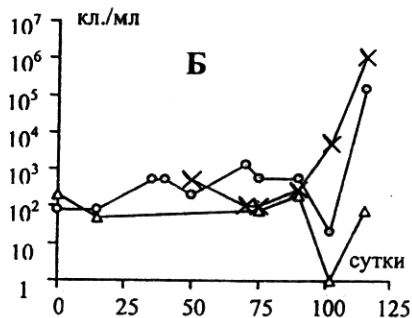
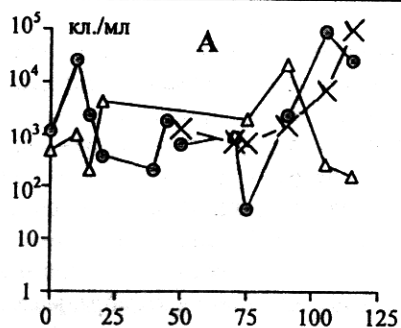
Необходимо отметить, что только представители родов *Aspergillus* и *Penicillium*, а также *Verticillium* и *Cladosporium* росли на всех видах топлива. Для культур из родов *Fusarium*, *Cephalosporium* и *Mucor* непригодной оказалась анастасиевская нефть.

Таким образом, исследования морской воды в севастопольских бухтах, проведенные в шестидесятых – семидесятых годах позволили не только дать санитарно-гигиеническую характеристику данной акватории, но и выявить широкий спектр гетеротрофной микрофлоры, трансформирующей различные составляющие органического вещества аллохтонного происхождения. При этом наибольшее внимание было уделено нефтяным углеводородам. В частности, впервые были получены данные о широком распространении и видовом разнообразии в морской воде севастопольской акватории бактерий и микромицетов, растущих на нефти и нефтепродуктах. Последующие работы в акватории Черного моря, а также морях средиземноморского бассейна, Тихом, Индийском и Атлантическом океанах, показали, что микроорганизмы, способные использовать углеводороды нефти и нефтепродуктов, широко распространены в морской воде. В последующем это дало возможность обосновать и выполнить Международный проект по микробиологической индикации нефтяного загрязнения [51].

Продолжались санитарно-биологические исследования морской воды в основном по линии изучения гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий, как показателей загрязнения моря. Такие работы проводились на отдельных участках севастопольских бухт и имели различную временную характеристику, начиная от одноразовых съемок, до многолетних исследований.

С целью оценки окисления органических веществ основных классов определялась липолитическая, амилолитическая, протеолитическая и углеводородокисляющая активность бактерий. В качестве примера приведены результаты определений микробиологических показателей в воде бухты Карантинной (рис. 1.5). Более полно материалы по этой бухте изложены в [60].

Полученные данные разнообразной биохимической активности микрофлоры этой бухты свидетельствует о наличии в морской воде широкого спектра органических соединений, которые практически не изучались в данном регионе.



—△— вход —●— середина —×— вершина

Рисунок 1.5 Численность бактерий в морской воде б. Карантинной: А – гетеротрофных, Б – липолитических бактерий, В – микробного числа, Г – нефтеокисляющих, Д – амилалитических, Е – фенолоксиляющих.

Примечание: Для удобства изображения динамики численности бактерий в морской воде использовался логарифмический масштаб

Глава 2. Органическое вещество морской воды

Гидрохимические исследования I-ой половины прошлого века, проводимые в Севастопольской бухте спорадически, были посвящены определению солевого состава, концентрации некоторых биогенов [17, 18].

Во II-ой половине прошлого столетия начались работы по изучению растворенного и взвешенного органического вещества [11, 12, 19]. В дальнейшем проводилось комплексное исследование биохимического состава растворенного и взвешенного вещества в течение 1985 года [15, 16].

Среднегодовое содержание органического вещества (ОВ) в воде равнялось 2290 ± 204 мкг/л, минимальная концентрация была в декабре, максимальная - в апреле (1151 и 4780 мкг/л). В скорости продукционных процессов отмечена сезонность: снижение шло от осени к лету с 150,8 до 18,7 мкг/л/сут.

Динамика аккумуляции энергии полностью совпадала с изменениями концентрации ОВ воды. Во время весеннего максимума количество аккумуляированной в ОВ энергии достигала 28,7 кал/л, осенью - 19,4 кал/л. Деструкция ОВ совпадала с продукцией его в период весеннего и осеннего максимумов.

Основную часть ОВ составляли углеводоподобные соединения (УПС) - 53 - 87 %; белковоподобные соединения (БПС) составили 4,2 - 25,7 %; липиды (Л) - 3,5 - 19,5 %; углеводороды (УВ) - 0,6 - 16,6 %. От весны к зиме доля энергоемких компонентов Л и УВ снижалась, при этом увеличивалась доля УПС, концентрация которых наиболее высокой была летом.

В сопредельной с бухтой акватории концентрации ОВ достигала 6000 мкг/л, равным образом здесь повышалась концентрация растворенного и взвешенного вещества.

Растворенное ОВ (РОВ) содержалось в количестве 1627 ± 176 мкг/л (> 70 % от ОВ) с максимумом показателя весной и осенью. Интенсивность продукции РОВ отмечена осенью и в июне (64,7 и 52,9 мкг/л/сут). Динамика энергетического потенциала РОВ совпадала с величинами его концентрации и составляла 8,1 - 18,5 кал/л. Деструкционные и продукционные процессы, происходившие с РОВ, в основном, совпадали, активность их была выражена осенью.

В составе РОВ входили: 79,8 % УПС, 4,5 % БПС, 1,8 % Л, 3,9 % УВ. Весной и летом в составе РОВ преобладали энергоемкие компоненты Л и УВ.

Взвешенное органическое вещество (ВОВ). Среднегодовое содержание ВОВ в морской воде составило $663,3 \pm 60,3$ мкг/л. Минимальная концентрация отмечена в декабре (252 мкг/л), максимум приходился на апрель

(1226 мкг/л). Динамика калорийности ВОВ от 10,3 кал/л в апреле до 4,1 кал/л осенью. Продукционные процессы затухали от конца мая (47,4 мкг/л/сут) к зиме (11,3 мкг/л/сут). Скорость продукции энергетических запасов, как и продукция вещества, имела максимум в мае (0,32 кал/л/сут) и минимум в осенне-зимний период (до 0,08 кал/л/сут).

Деструкция ВОВ, как и РОВ, была заторможена летом, когда активность продуцирования была высокой. Деструкция РОВ проходила с большей скоростью, чем ВОВ (осенью примерно в 4 раза); весной интенсивность этого процесса для ВОВ и РОВ близка. В составе ВОВ преобладали углеводы (УПС) - до 64,6 %, в которых основную часть представляла структурная фракция. Весной значительную величину составляли резервные углеводы и моносахариды. Деструкция взвешенных УПС не происходила летом, осенью и в период апрель - май. При этом не было роста амилолитических бактерий. В целом, численность последних не связана с концентрацией УПС и концентрацией фракций.

Белковоподобные соединения составляли до 35,9 % от ВОВ; с концентрацией белка весной, а аминокислот - летом. Деструкция БПС наблюдалась зимой и была незначительной с апреля по август. Численность протеолитических бактерий связана с концентрацией белков ВОВ, также прослежена связь этого параметра с деструкцией белков.

Липиды, на долю которых приходилось, в среднем, 18 % от суммы ВОВ ($125,0 \pm 19,2$ мкг/л), состояли преимущественно из полярных и малополярных соединений, стерины и воски составляют меньшую долю. Продукционно-деструкционные процессы липидов ВОВ совпадали весной, скорость деградации ослабевала осенью и зимой. Численность липолитических бактерий с концентрацией Л не коррелирует, скорость их роста высока при малых величинах деструкционного коэффициента.

Углеводороды представляли 10 % суммы ВОВ, среднегодовое содержание $712 \pm 24,3$ мкг/л. Продукционно-деструкционные процессы совпадали во все сезоны, кроме зимнего. Скорость деструкции УВ снижалась от весны к осени. Численность нефтеокисляющих бактерий не коррелировала с концентрацией и скоростью деструкции УВ. Скорость роста нефтеокисляющих бактерий была высокой в течение года.

Нуклеиновые кислоты ВОВ (ДНК, РНК, свободные нуклеотиды) имели свою особенность: годовая динамика совпадала с изменением концентрации хлорофилла "а", что связано, по-видимому, с развитием фитопланктона. Максимумы деструкции отмечены осенью. Летом она практически отсутствовала.

Продукционно-деструкционные процессы, протекающие в морской воде и связанные особенно с ВОВ и с такими компонентами, как УПС, БПС,

Л, УВ, соединениями нуклеинового обмена, пигментами, отражают ход накопления и преобразования, а также миграции органического вещества в целом и углеводов, в частности. И, хотя численность различных групп бактерий прямо не связана с процессами деструкции таких органических компонентов, как УПС, Л, УВ, тем не менее, скорость роста бактерий определяется в воде бухты как высокая в течение года, а с концентрацией и деструкцией БПС бактерии имеют определенную связь.

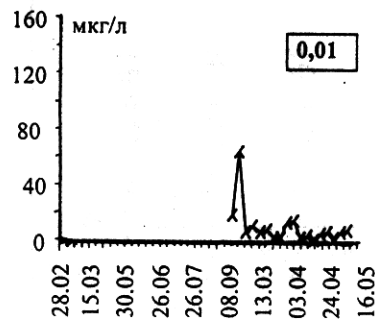
Была проведена попытка определения фракций ВОВ, оседающего на фильтрах различной плотности. Наблюдение за содержанием суммы нуклеотидов проводилось в одной точке Севастопольской бухты более года, при этом пробы отбирали несколько раз в месяц (рис. 2.1).

Что касается углеводов, то в экологическом плане наибольший интерес представляют углеводороды нефти и нефтепродуктов, т.е. углеводороды аллохтонного происхождения. Хотя разделить углеводороды на автохтонные и аллохтонные чрезвычайно сложно, условно принято считать нефтяными углеводороды, выделенные из пробы морской воды и подвергнутые обработке по [79, 84].

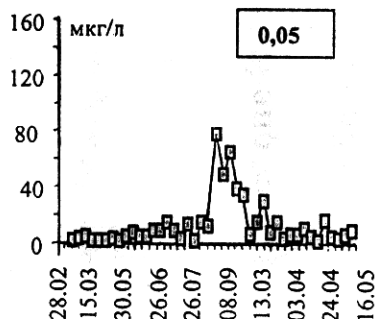
Понимая условность такого деления, и учитывая законодательный характер этого метода, приводим некоторые данные по систематическому определению нефти ряда пунктов севастопольской акватории.

Результаты наблюдений синхронно в двух бухтах - Южной и Артиллерийской, - представлены на рис 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 (сумма углеводородов, нефтепродукты, ароматические углеводороды).

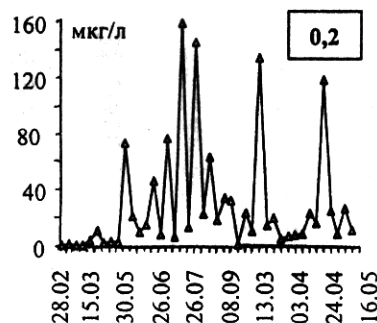
Таким образом, к семидесятым годам прошлого столетия осуществилась идея изучения микрофлоры и некоторых химических показателей морской воды, представляющих интерес в санитарно-биологическом аспекте. Одновременно стало совершенно ясно, что без комплексного исследования донных осадков невозможно дать полную санитарно-биологическую характеристику акватории, поскольку известно, что все виды загрязнений, включая нефть и нефтепродукты, накапливаются в донных осадках. В Севастопольской бухте, по данным 1957 г., в местах стоянки судов количество органического и аммонийного азота в донных осадках было в 1,5 и 5 раз больше по сравнению с открытым морем, соответственно [6].



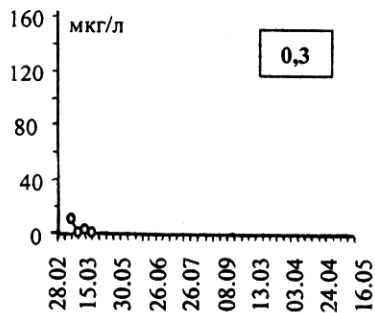
Дата



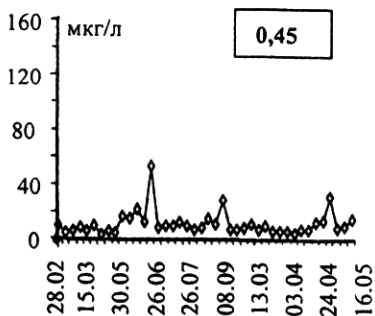
Дата



Дата



Дата



Дата

Рисунок 2.1 Динамика нуклеотидов из фракций БОВ.

Примечание: в правом верхнем углу графиков в рамке указан размер фракций, мкм.

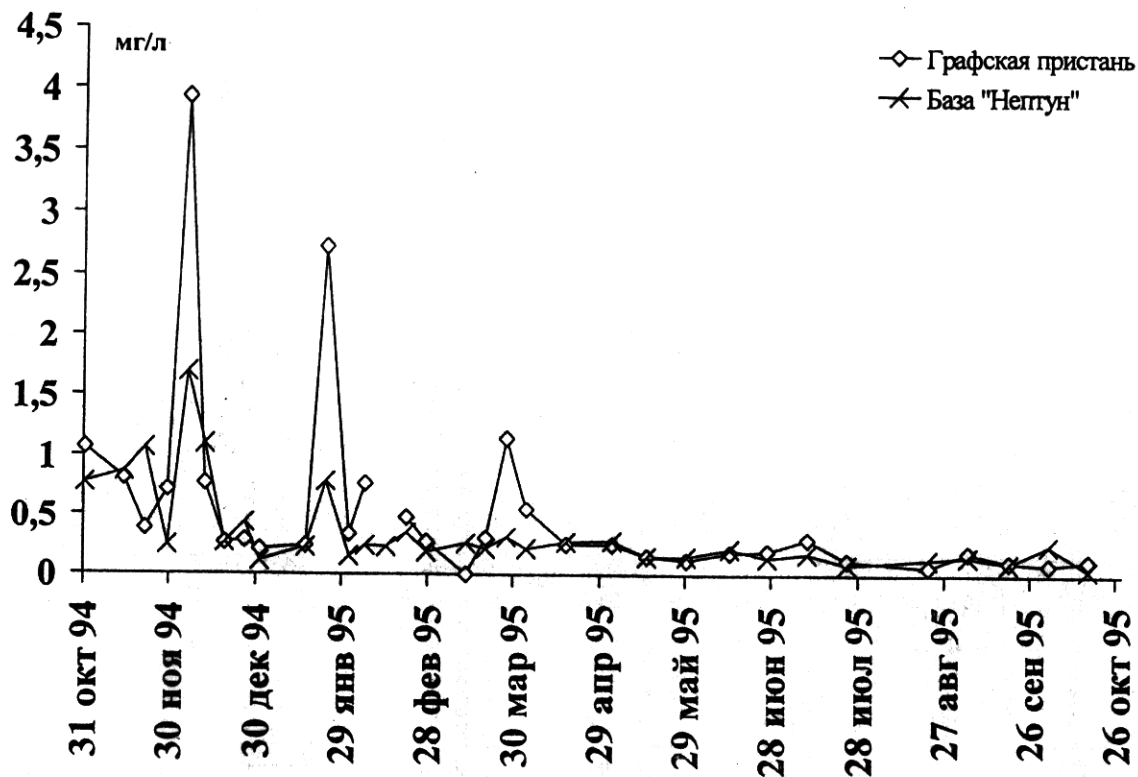


Рисунок 2.2. Динамика углеводов в воде б. Севастопольская

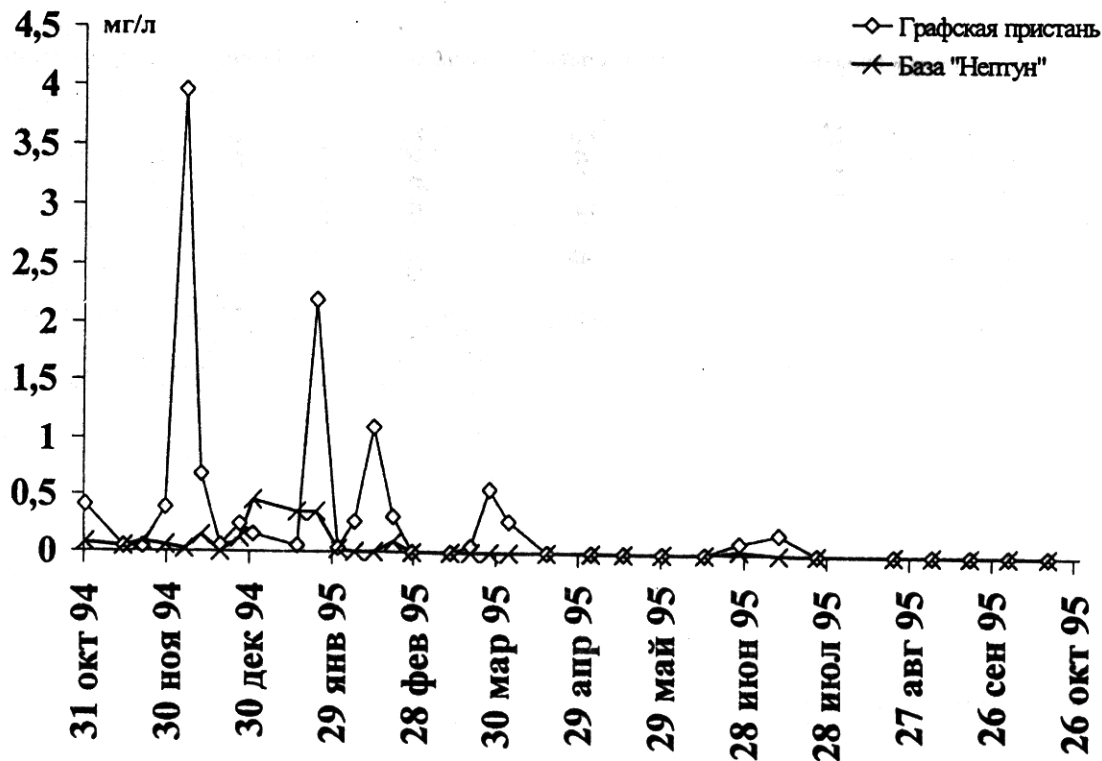


Рисунок 2.3 Динамика нефтепродуктов в воде б. Севастопольская

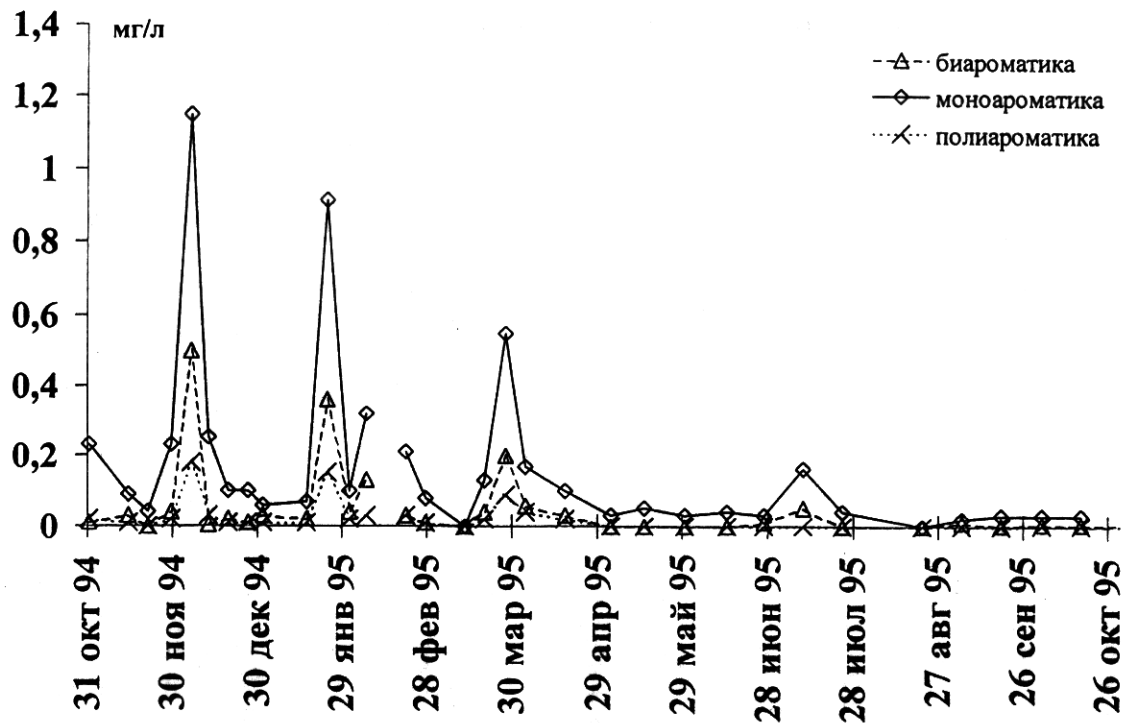


Рисунок 2.4 Динамика ароматических углеводородов в воде б. Севастопольской в районе Графской пристани

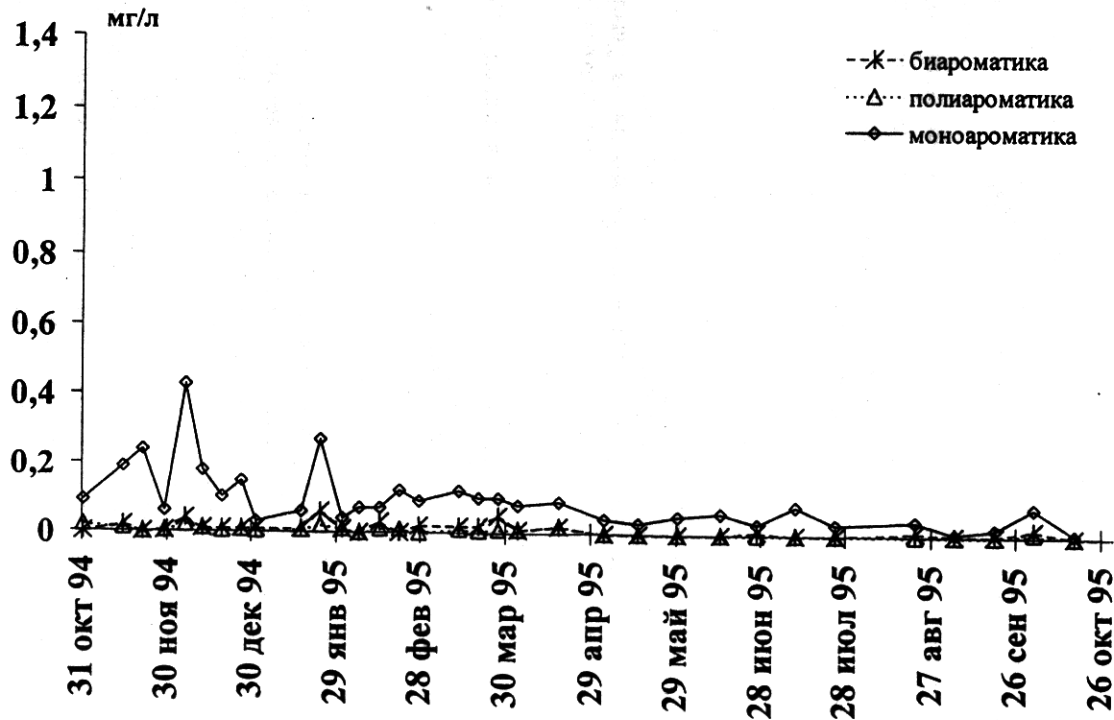


Рисунок 2.5 Динамика ароматических углеводородов в воде б. Севастопольская в районе базы "Нептун"

Глава 3. Геохимическая характеристика донных осадков бухт и локальных участков

Первые исследования, проведенные на акватории Севастопольской бухты в 1969, показали различное содержание в донных осадках органического вещества, его компонентов (битумоидов, гуминовых и водорастворимых соединений) и аммонийного азота [61]. Различия были связаны с местонахождением донного осадка и глубиной залегания слоёв. Поверхностный слой донных осадков вершины и центральной части бухты содержал органического вещества в несколько раз больше, чем глубжележащие слои и донные осадки открытого моря.

Постепенно накапливался материал, свидетельствующий о донных осадках как индикаторе состояния акватории. Загрязненность донного осадка тесно связана с его природой, вещественным, гранулометрическим составом, глубиной залегания, наличием источника загрязнения [22, 23].

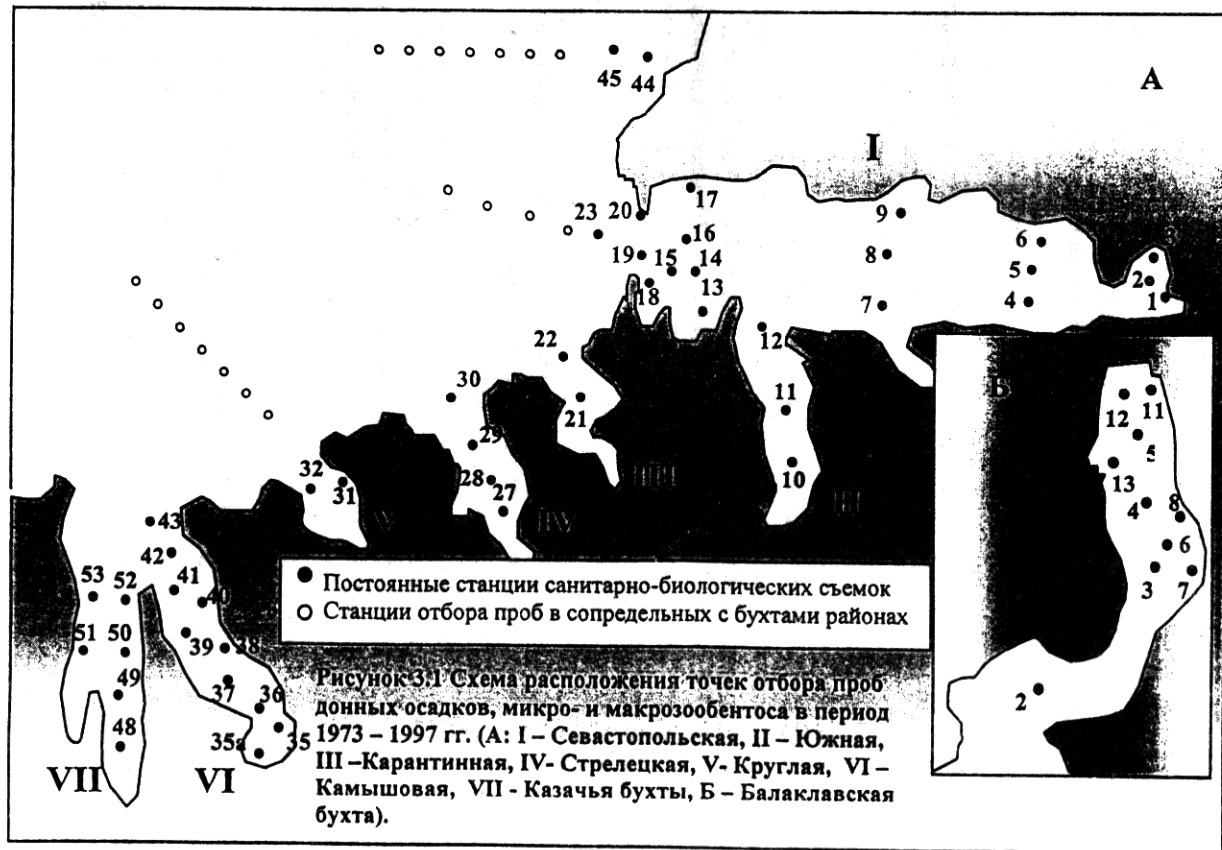
Все последующие систематические наблюдения над состоянием донных осадков севастопольских бухт, начиная с 1973 г. – это комплексные санитарно-биологические съёмки, детализировали и подтверждали данные первоначальных исследований. В то же время они указывали на участие донных осадков в самоочищении среды [34] и в жизни макрозообентоса [43, 44, 45].

Биогеохимическая характеристика донных осадков севастопольских бухт, приведенная ниже, основана на материале, собранном в период с 1973 по 1997 гг.

Пробы отбирали с помощью дночерпателя (Петерсена или системы "океан" с площадью захвата 0,025; 0,1; 0,25 м²) и водолазным пробоотборником с площадью захвата 0,04 м² при работе на грубозернистых отложениях.

В свежееотобранных пробах определяли pH, Eh, натуральную влажность, гранулометрический состав [23]. В подготовленных соответствующим образом воздушно-сухих пробах находили: Сорг, Нобщ, битумоид хлороформный (Ахл), нефтяные углеводороды (НУ) [78], лабильные органические вещества: углеводо-, белковоподобные соединения и липиды (УПС, БПС, Л) [35]. Подробно анализировали битумоид Ахл [24, 25, 28], липидно-углеводородный комплекс [26] и гуминовое вещество донных осадков [27], определяя компонентный и элементный состав. Все полученные результаты пересчитаны на 100 г сухого осадка.

Характеристика донных осадков приводится по акваториям бухт и прилегающему к ним району открытого моря (рис. 3.1).



3.1 Севастопольская бухта. Донные осадки б. Севастопольская (рассматривается вместе с б. Артиллерийской) относились к темно-серым и черным алевро-пелитовым и пелитовым илам на глубинах 5 - 18 м. Вблизи устья бухты на глубине 17 - 19 м их сменяли илистые пески, галечники с примесью камней, а вдоль берегов на глубине до 1 м между выходами скальных пород залегали пески и грубообломочные грунты с преобладанием частиц размером 1 - 2 мм и наличием крупных фракций более 7 мм диаметром.

Накопление в илистых донных осадках пелитовых частиц < 10 мкм обуславливало высокую натуральную влажность - до 65,95 %; увеличение количества алевритовых (10 - 100 мкм) при сокращении доли пелитовых частиц уменьшало натуральную влажность до 43,11 %; частицы крупнее 100 мкм понизили её до 34,90 % и 28,80 %, как было отмечено для песков с гравием зоны фитали. Большинство донных осадков, исключая крупнозернистые, имели отрицательный редокс-потенциал: Eh -15...-145 мВ; различный pH: от 7,45 до 8,25, с преимуществом pH > 8,00.

Содержание Сорг менялось с 3,85 %масс в донных осадках вершины бухты до 8,15 %масс в илах центральной части; в устье бухты донные осадки содержали Сорг 3,24 - 4,81 %масс, в Артбухте 4,61 - 4,72 %масс. Величины, характеризующие содержание азота - Nобщ 0,12 - 0,24 %масс; соотношение C/N 17 - 45. Такое колебание соотношений этих показателей свидетельствует о накоплении углерода; в натуральном морском осадке соотношение C/N не должно превышать 10.

Количество битумоида Ахл, отражающего наличие аллохтонного органического вещества, разновеликое: от 0,22 г/100 г в илах вершины бухты до 4,13 г/100 г сухого осадка в илах центральной её части, что составляет от 5,5 до 58,6 % от Сорг. Во многих осадках доля битумоидов в составе органического вещества значительная. Для сравнения определяли связанный с минеральной частью донного осадка битумоид, который преобразовался в процессе раннего диагенеза; он составил 2,1 - 14,8 % от Сорг. Концентрация Ахл в илах бухты была заметной. Компонентный состав Ахл отличался от такового сырой нефти накоплением нафтенных и смол и сокращением количества алканов, асфальтенов и бензольной фракции углеводородов (табл. 3.1). Элементный анализ каждой фракции подтвердил окисленность и ненасыщенность нафтенной составляющей (табл. 3.2).

Несмотря на преобразование нефти и нефтепродуктов в морской среде, нефтяные углеводороды накопились в илах вершины бухты до 150 мг/100 г, а центральной части - до 2230 мг/100 г, что составляет до 30 % от Сорг.

Таблица 3.1 Компонентный состав нефти и битумоидов (в %)

Фракции группового анализа	Нефть	Битумоид Ахл	
		Ракушняк с примесью ила	Песок
Алканы	21,3	12,1	8,3
Нафтенy	25,2	41,2	45,2
Нафтенoароматика	4,7	5,1	-
Смолы бензолные	19,4	-	5,3
Смолы спирто- бензолные	6,5	24,0	26,0
Асфальтены	22,9	17,6	15,2

В незагрязненных углеводородами морских осадках на долю последних приходится до одной трети органического вещества на фоне ненакопления в донном осадке как углеводородов (от следовых величин до 5 мг/100 г), так и органического вещества (доли процента).

В донных осадках бухты много лабильных органических соединений: УПС - 523,3 - 980,0 мг/100 г; БПС - 205 - 365 мг/100 г; липидов - 150 - 1227 мг/100 г. Соотношения УПС : БПС : Л как 2 - 3 : 1 : 1 - 4. По сравнению с чистыми донными осадками здесь очевидна концентрация УПС и особенно липидов. В составе последних преобладали полярные липиды и смолы (22,5 и 16,1 %, соответственно). На долю ди- и триглицеридов, стеринoв, жирных кислот и спиртов приходился меньший процент, а эфиры стеринoв и жирных кислот практически отсутствовали.

Таблица 3.2 Элементный состав фракций (в %)

Фракции	Нефть				
	C	H	N	O+S	H/C (ат.)
Алканы	74,07	12,13	0,78	13,02	1,97
Нафтенy	76,26	11,42	1,01	11,31	1,79
Бензолные смолы	80,08	11,29	1,12	7,53	1,69
Спирто- бензолные смолы	75,75	11,29	0,95	12,01	1,79
Асфальтены	79,18	12,18	1,32	7,32	1,85
Битумоид Ахл ракушняка					
Алканы	76,45	12,08	0,68	10,79	1,90
Нафтенy	69,53	9,31	0,83	20,33	1,60
Бензолные смолы	-	-	-	-	-
Спирто- бензолные смолы	84,58	12,63	1,26	1,53	1,79
Асфальтены	75,63	10,98	0,87	12,52	1,74

углеводородный комплекс (ЛУВК) на 39,4 - 88,9 % был представлен углеводородами (нативными и аллохтонными).

Крупнозернистые грунты зоны фитали, относящиеся к пескам, имели благоприятный воздушный режим (E_h положительный) и активную реакцию среды (pH выше 8,00). Аммонийного азота в них было мало $0,12 \pm 0,05$ мг/100 г, битумоида Ахл тоже - $0,25 \pm 0,05$ г/100 г. Эти донные осадки практически не загрязнены, хотя находятся в условиях постоянного загрязнения нефтепродуктами.

Вершина б. Севастопольская. Пробы донных осадков были извлечены на 5 точках (рис. 3.2 - I): у моста через р. Черная, вблизи разделочного слипа, в центре бухты и в районе Сухарной балки. Донные осадки у моста относились к светлым илам с обильной примесью обломков ракушки и известковых трубочек. Примесь, состоящая из редких обломков ракушки, щебня, кусочков угля, характеризовала темные илы с запахом сероводорода.

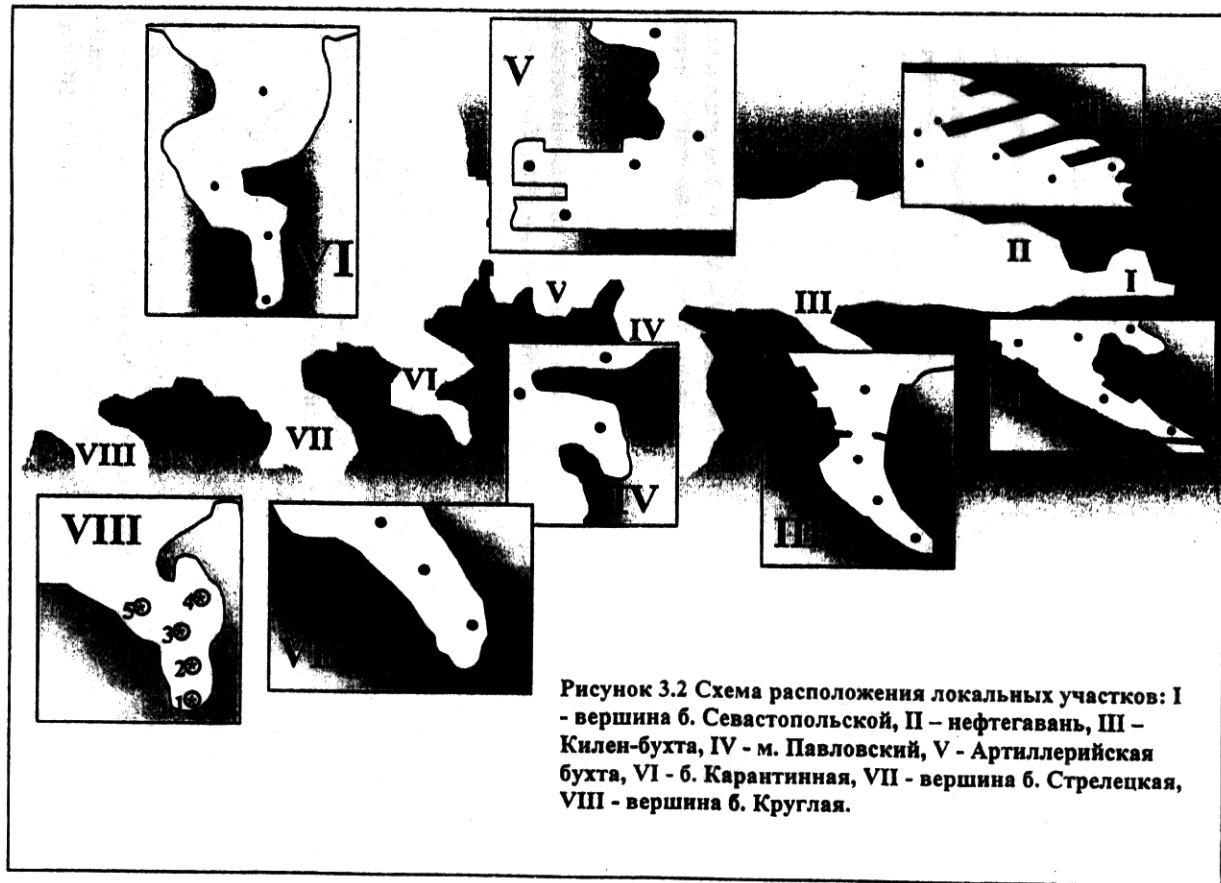
Натуральная влажность 53,74 - 59,09 % подчеркнула одинаковый гранулометрический состав исследуемых илов; щебнистость снизила натуральную влажность до 44,95 %.

Битумоид Ахл содержался в количестве от 0,12 г/100 г до 0,46 г/100 г; нефтяные углеводороды - от 33 мг/100 г до 145 мг/100 г. Насыщенность битумоида нефтяными углеводородами неодинаковая. Высокая доля НУ в Ахл при повышенном количестве и битумоида, и углеводородов в темных илах свидетельствовала о непретворенном свежем загрязнении; более низкие показатели - о слабом загрязнении донных осадков.

Участок нефтегавани. Донные осадки, находящиеся на участке нефтегавани (пробы были отобраны с глубины 1,5 - 15 м) представляли, в основном, илы и ракушняки (рис. 3.2 - II). Все они имели черный или темно-серый цвет, запах мазута, нефти или сероводорода.

Натуральная влажность составила 42,78 - 55,36 % в алевроитовых илах и 54,11 - 75,43 % в пелитовых разновидностях. E_h менялся от +1 мВ в ракушняке до -179 мВ в черном пелитовом иле; отмечены изменения pH 7,80 - 8,60. Содержание Сорг 1,68 - 7,58 %масс, Нобщ 0,09 - 0,39 %масс; отношение C/N 12 - 69. Количество битумоида Ахл колебалось от 0,22 до 3,68 г/100г, что от Сорг составило 8,1 - 54,6 %. Все донные осадки загрязнены в различной степени.

Килен-бухта (рис. 3.2 - III) отличается от других акваторий изолированностью, малым водообменом и высоким антропогенным прессом. Донные осадки имели все черты негативного свойства: это черный цвет и запах нефтепродуктов у илов и ракушняков.



Натуральная влажность, находясь в соответствии с гранулометрическим составом, равнялась 38,84 - 80,95 %; Eh -29...-209 мВ, рН 7,62 - 8,25.

Количество битумоида Ахл снижено в ракушняке относительно ила в несколько раз (с 5,72 до 1,58 г/100 г). Угледороды нефти - также: с 940 - 2230 мг/100 г в илах до 570 мг/100 г в ракушняке. Доля НУ в Ахл равна 24 - 39 %. По всем показателям отличался черный ил участка, находящегося вблизи понтона; здесь от постоянного притока нефтепродуктов и слабого водообмена накопились НУ (свыше 2 г) и Ахл (около 6 г/100 г).

Павловский мыс. Станции отбора проб размещены на акватории вблизи м. Павловский (рис. 3.2 - IV).

Пробы представляли черный, загрязненный, с нефтяным блеском и запахом мазута ил. Натуральная влажность была 63,55 - 72,48 %, Eh -144...-189 мВ, рН 7,65 - 7,80. Содержание Сорг 4,93 - 6,40 %масс, Нобщ 0,24 - 0,42 %масс, С/Н 11 - 25.

Битумоид Ахл в илах со стороны б. Севастопольской составил 2,76 г/100 г, в илах б. Южной - 3,55 - 5,32 г/100 г, что равно 56 - 86 % от Сорг. Степень загрязнения нефтепродуктами этого участка велика.

Акватория б. Артиллерийская - м. Хрустальный. Пробы донных осадков были отобраны с глубины 1,5 - 7 м (рис. 3.2 - V) с целью выяснения загрязнения нефтепродуктами, поступающими сюда в том числе через ливневый сток.

Донные осадки представлены в основном крупнозернистыми разновидностями: ракушняками и песками с примесью ракуши и ила, а в вершине б. Артиллерийской илами с примесью большого количества песка и мусора. Запах мазута и сероводорода характеризовал илы, слабый запах сероводорода - пески. Пески и ракушняки у м. Хрустальный имели вид чистых морских осадков. Внешние признаки подтвердили физико-химические данные. Натуральная влажность в песках и ракушках была 24,16 - 38,95 %, в заиленных ракушках 55,87 %, Eh от +261 до -59 мВ, рН 7,25 - 7,80. Содержание битумоида Ахл, колеблющееся в пределах 0,13 - 0,41 г/100 г в крупнозернистых разновидностях, поднималось до 0,67 - 1,15 г/100 г в загрязненных песках и илах. Заметно различие в количестве НУ: 30 - 135 мг/100 г в песках и ракушках и 161 - 253 мг/100 г в илах. Доля НУ в Ахл 22 - 35 %.

Сумма лабильных компонентов органического вещества разнообразна - от 193 до 1777 мг/100 г. Преобладали УПС (доля от суммы равна 44 - 75 %), наибольшее их количество в районе ливневого стока. Распределение БПС аналогично УПС. От суммы лабильных компонентов на БПС приходилось 15 - 21 %. Липиды количественно повторяли величины БПС, относительно других соединений их доля составила 7 - 35 %. Соотношение УПС : БПС : Л,

как 3 – 4 : 1 : 1 в большинстве осадков, в районе ливневого стока менялось на 6 – 10 : 1 – 2 : 1, указывая на аллохтонность УПС.

Природные свойства донных осадков этой акватории нарушены настолько, что накопление Ахл, НУ и УПС опережает их преобразование.

Участок океанариума. Участок прилегает к восточному берегу б. Артиллерийская. Пробы отбирали (рис. 3.2 – V) в ноябре 1996 г. и в мае 1997 г. с помощью водолазов. Донные осадки участка, отнесенные к пескам, ракушнякам с примесью разного количества илистых и песчаных частиц, а также илам с примесью песка и ракуши, характеризовались мозаичностью расположения.

Все донные осадки темно-серого и черного цвета, с запахом сероводорода и мазута; в ракушняках и песках эти свойства выражены слабее, чем в илах. Натуральная влажность колебалась от 27,63 % до 41,36 %; Eh от +241 до -39 мВ; pH от 7,80 до 8,35. Количество битумоида Ахл равнялось 0,13 – 1,04 г/100 г, нефтяных углеводородов НУ 31,2 мг/100 г – 405,5 мг/100 г. Доля НУ в Ахл 22,9 – 39,0 %. Загрязненность донных осадков велика.

Сумма лабильных компонентов снижалась с 978 – 1655,4 мг/100 г в ракушняках до 511,9 мг/100 г в илах и 270,4 – 360,1 мг/100 г в песках.

Преобладала группа УПС – 55 – 63 % от суммы лабильных компонентов; БПС составляли 10 – 19 %, липиды – 23 – 31 %. Соотношение между УПС : БПС : Л осенью было как 4 – 6 : 1 : 2; весной как 3 : 1 : 2. В отличие от других участков бухты, здесь донные осадки имели повышенное содержание липидов – до 527,6 мг/100 г. Величина ЛУВК в ракушняках равна 0,64 – 1,13 г/100 г, в песках 0,16 – 0,26 г/100 г, в илах 0,24 г/100 г. В составе ЛУВК на долю фракции углеводородов приходилось 37,6 – 66,8 %, полярные липиды и смолы составили 19,0 – 37,4 %, стеринны 2,2 – 18,9 %, жирные кислоты – 1,3 – 12,4 %, триглицериды 0,9 – 4,2 %. Эфиры жирных кислот и стериннов определены в следовых количествах.

3.2 Южная бухта. Дно бухты заполнено черным пелитовым илом на глубине 15 – 17 м, натуральная влажность которого была 56,48 – 60,02 %, Eh – 140...–160 мВ, pH 8,20 – 8,26. Количество Сорг 4,81 – 10,04 %масс, Нобщ 0,11 – 0,18 %масс, соотношение C/N 43 – 55 – все указывает на накопление углерода. Концентрировался здесь Ахл 2,65 – 3,63 г/100 г (до 59 % от Сорг). Количество связанного битумоида Схл 0,20 – 0,77 г/100 г (2 – 16 % от Сорг). Элементный состав битумоида Ахл включал 80,06 % С, 11,88 % Н, 7,60 % N, 3,62 % O+S; гетероэлементов в два-три раза меньше, чем в битумоиде из илов б. Севастопольская, в элементный состав которого входили 77,63 % С, 11,37 % Н, 29,47 % N и 9,80 % O+S. Битумоиды илов б.Южная отличались ненасыщенностью при высокой карбонизированности молекул.

Нефтяные углеводороды составили 960 - 1330 мг/100 г (до 20 % от Сорг), что свидетельствует о загрязненности донных осадков.

Соотношение лабильных компонентов было похоже на таковое илов б. Севастопольская: УПС : БПС : Л как 2 - 3 : 1 : 3 - 4, т.е. сохранился амило-липо-протеиновый комплекс с преобладанием липидов. В составе липидов до 9,7 % приходилось на полярные липиды, до 6,0 % - на смолы, до 5,6 % - на жирные кислоты. Другие компоненты находились в незначительном количестве, вплоть до следовых величин. Основную долю ЛУВК составили углеводороды - до 79 %.

3.3 Карантинная бухта. Донные осадки устья бухты отнесены к пескам с примесью ила на глубине 6 м и алевроитовым илам с примесью песка на глубине 14 - 16 м. Натуральная влажность 38,39 - 42,34 %; Eh -30...-140 мВ; pH 8,02 - 8,22.

Количество Сорг 2,23 - 3,95 %масс, Нобщ 0,13 - 0,25 %масс, C/N, равное 10 - 30, - всё связано с накоплением органического вещества, в составе которого есть углеводороды. Битумоида Ахл здесь 0,14 - 0,43 г/100 г, что составляет до 16,9 % от Сорг. Элементный состав битумоида Ахл: 72,31 % С, 10,93 % Н, 16,17 % N, 7,74 % O+S указывает на небольшую окисленность битумоида. Лабильные компоненты УПС:БПС:Л соотносились как 4 - 8 : 1 - 3 : 1. В составе липидов было большое количество смол до 25,3 %; полярных липидов - до 7,1 %; жирных кислот - до 5,2 %; стеридов - до 4,6 %; жирных спиртов - до 3,4 %. В небольшом количестве присутствовали ди- и триглицериды, эфиры жирных кислот и воска; на сумму углеводородов в ЛУВК приходилось 54,3 - 68,5 %.

Вершина Карантинной бухты. Большая часть дна покрыта алевроитовым и алевро-пелитовым илом, меньшая площадь - пелитовым илом, мелководье занято ракушняками, часто с примесью ила, песка, камней (рис. 3.2 - VI). Натуральная влажность менялась от 42,0 - 71,1 % в илах до 34,2 - 42,8 %; в песках; Eh от -154 мВ в илах до +301 мВ в ракушнях; pH от 7,27 в илах до 7,95 - в ракушнях.

Количество Сорг возрастало с $1,16 \pm 0,72$ %масс в песках до $4,82 \pm 0,03$ %масс в илах; Нобщ с 0,05 %масс в песках до 0,33 %масс - в илах и 0,45 %масс - в ракушнях; C/N 7 - 23.

Преобладание углерода в черных пелитовых илах связано, по-видимому, с накоплением битумоида Ахл (до $1,41 \pm 0,11$ г/100 г); в ракушнях и песках Ахл намного меньше ($0,39 \pm 0,13$ г/100 г и $0,10 \pm 0,08$ г/100 г, соответственно). Доля Ахл от Сорг была от 8,7 % в песках до 29,2 % в илах.

3.4 Стрелецкая бухта. Алевроитовые темно-серые и черные пелитовые илы на глубине 7 - 20 м перемежались илистыми песками на глубине 6 - 8 м. Загрязненность нефтепродуктами прослеживалась визуально в виде

радужных пятен. Сопряженная с гранулометрическим составом, натуральная влажность увеличивалась от 35,63 % в песках до 60,89 % в илах; Eh менялась от +71 мВ в песках до -84 мВ в илах; pH колебался от 7,27 до 7,72. Количество Сорг 3,87 - 8,85 %масс, Нобщ 0,18 - 0,54 %масс, C/N 7 - 26 - характеризовали донные осадки как типично загрязненные осадки бухт. Подтверждением тому служили величины Ахл: 1,09 - 2,23 г/100 г (до 38,6 % от Сорг) и нефтяных углеводородов до 960 мг/100 г в илах. Количество их в песках на порядок меньше (до 10 % от Сорг).

Элементный состав битумоида Ахл: 78,6 % C; 11,58 % H; 11,89 % N; 4,47 % O+S свидетельствует о восстановленности и ненасыщенности его молекулы.

Соотношение УПС : БПС : Л как 2 - 5 : 1 : 1 - 3 подобно таковому других бухт. В составе ЛУВК было найдено до 12,8 % смол, до 7,8 % полярных липидов, до 4,8 % жирных кислот, доля других компонентов невелика, а преобладали углеводороды - до 79 %.

3.5 Круглая бухта. Донные осадки на глубине 7 - 8 м представлены песками и ракушняками с натуральной влажностью 22,72 - 31,67 %, Eh +131...+356 мВ, pH 7,80 - 8,22 и высоким содержанием аммонийного азота - до 0,70 мг/100 г сухого осадка, в то время как донные осадки открытого моря содержали, в среднем, $0,09 \pm 0,04$ мг/100 г NH_4^+ .

Количество Сорг 0,30 %масс, Нобщ. 0,03 %масс, (соотношение C/N 10); Ахл не превышало 0,04 г/100 г (это составило 13 % от Сорг); НУ - от следовых величин до 18 мг/100 г, донные осадки бухты практически не загрязнены. Лабильных соединений в этих осадках на порядок меньше, чем в осадках других бухт; соотношение между УПС : БПС : Л как 10 : 2 : 1. Липиды, найденные здесь в минимальном количестве, отличались по составу: 24,2 % смол, 22,3 % жирных кислот, 8,3 % полярных липидов, 4,5 - 4,8 % стеринов и триглицеридов; в них преобладали соединения биогенной природы. Сумма углеводородов в ЛУВК равна 33 %, что типично для морских донных осадков.

Вершина 6.Круглая. Отдельно следует выделить вершину 6. Круглой, которую можно отнести к системе акваторий севастопольских бухт условно. Это водоем с глубинами менее 1 м, возникший на месте ранее существовавшего соленого озера, впоследствии соединившегося с морем. Донные осадки представлены илами с обильной массой обрывков травы, запахом сероводорода и бытовым мусором (рис. 3.2 - VIII).

Натуральная влажность от 16,51 до 62,66 %; Eh от +271 мВ в песках до -177 мВ в илах; pH 7,40 - 8,25. Количество Сорг 0,16 - 1,98 %масс, Нобщ 0,04 - 0,39 %масс, C/N - 4 - 8.

Битумоида Ахл в илах было 0,13 - 0,90 г/100 г, в песках 0,02 - 0,13 г/100 г. По отношению к Сорг это составило до 45,4 % в илах и до 8 % в песках.

Количество НУ снижалось с 190 мг/100 г в илах до следовых величин в песках (доля их 21 % от Ахл. и 10 % от Сорг).

Таким образом, илы вершины бухты имели черты углеводородного загрязнения, усиливающегося с годами (результат наблюдений 8 лет). Количество углеводородов в донных осадках не уменьшилось, а доля НУ в Ахл выросла до 31 %.

3.6 Камышовая бухта характеризуется разнообразными по гранулометрическому составу донными осадками: на глубине 5 - 11 м встречались темно-серые и черные алевритовые и алевро-пелитовые илы, темно-серые и черные пески с примесью ила и ракуши, темные ракушняки. Натуральная влажность колебалась в пределах 28,19 - 53,84 %, Eh +321... - 210 мВ, рН 7,27 - 8,03; Сорг 1,36 - 6,89 %масс, Нобщ. 0,11 - 0,44 %масс, C/N - 14 - 30. Битумоид Ахл от 0,05 до 0,91 г/100 г, доля его 7 - 14 % от Сорг.

Элементный состав Ахл неоднотипный: 59,0 - 83,33 % С, 6,48 - 12,13 % Н, 4,46 - 24,55 % N, 0 - 14,94 % O+S. Здесь прослеживалась концентрация и углерода как следствие углеводородного загрязнения, и азота, имеющего также аллохтонный характер.

Нефтяных углеводородов обнаружено в количестве 10 - 70 мг/100 г, это на порядок меньше, чем в иных загрязняемых нефтепродуктами акваториях, но в 2 - 10 раз больше, чем в чистых морских осадках.

Лабильных органических соединений меньше, чем в других бухтах, соотношение УПС : БПС : Л как 2 - 5 : 1 - 2 : 1 напоминает таковое чистых донных осадков.

Состав ЛУВК неоднороден: 6,6 - 34,4 % смол, 2,1 - 8,4 % полярных липидов, 1,2 - 6,7 % стерин, 2,3 - 6,5 % жирных кислот, 1,8 - 4,4 % триглицеридов, в незначительном количестве присутствовали другие липидные компоненты. На сумму углеводородов приходилось 34,9 - 81,7 %, что подчеркивает неоднородность источников и степень загрязненности донных осадков.

Фитальная зона характеризовалась ракушняками с примесью ила и песка и грубообломочными разновидностями. Натуральная влажность, составила $38,2 \pm 4,5$ %, аммонийный азот $0,14 \pm 0,05$ мг/100 г, битумоид Ахл $0,12 \pm 0,05$ г/100 г. В целом физико-химические показатели донных осадков отличались от таковых открытого моря, но не так резко, как в зоне фитали б. Севастопольская.

Следует заметить, что периодически проводимые в бухте дноуглубительные работы изменяли состояние донных осадков, отражаясь на

количественных показателях. Битумоид Ахл накапливался после проведенной рефулировки с 0,03 - 0,33 г/100 г до 0,17 - 0,91 г/100 г.

3.7 Казачья бухта. Дно бухты каменистое с крупнозернистыми донными осадками на глубине 10 - 15 м. Ракушняки и пески имели натуральную влажность 29,26 - 37,29 %; заиленные донные осадки вершины бухты 46,83 - 55,33 %; Eh понижался с +36... +381 мВ в песках, до -9...+11 мВ в илах вершины восточного отрога бухты; pH колебался от 7,68 до 8,01.

Количество Ахл, равное 0,01 - 0,10 г/100 г, присуще незагрязненным донным осадкам; НУ находились в следовом количестве, и лишь в темных заиленных ракушниках концентрация возрастала до 28 мг/100 г, указывая на слабую загрязненность донных осадков.

Лабильные соединения УПС : БПС : Л соотносились как 8 - 32 : 1 - 3 : 1. Такое накопление УПС связано, по-видимому, с притоком углеводов из морских трав, заросли которых отмечали здесь всегда [20].

Донные осадки зоны фитали представлены ракушняками и грубообломочными разновидностями с примесью обильных водорослевых остатков на глубине 0,5 - 1 м и чистыми песками на глубине 1 - 10 м. В них преобладали частицы размером 1 - 2 мм. Натуральная влажность $31,3 \pm 2,2$ %, содержание аммонийного азота $0,09 \pm 0,025$ мг/100 г, битумоида Ахл $0,06 \pm 0,005$ г/100 г. Все показатели приближены к таковым донных осадков открытого моря.

3.8 Балаклавская бухта. Донные осадки (рис. 3.1 - Б) отнесены к черным алевро-пелитовым илам на глубине 6 - 14 м и светлым пескам с прослоями ила на глубине 17 м. Отмечена примесь щебня, камней терригенного происхождения. Большинство из них имели запах сероводорода; черный ил из подземного канала - штольни - запах мазута.

Величина натуральной влажности колебалась от 39,45 до 62,05 %, Eh - 39-169 мВ, pH 7,43 - 8,08; битумоида Ахл от 0,19 до 2,69 г/100 г. Основная часть донных осадков содержала 0,57-0,83 г/100 г Ахл (ст. 3-8).

Количество нефтяных углеводородов в песках было 34,5 мг/100 г (ст. 2), в илах бухты от 39,6 до 182,4 мг/100 г (ст. 3 - 13), в илах штольни 582 мг/100 г.

3.9 Сопредельный с бухтами район открытого моря. На глубине 5 - 14 м вблизи п. Учкеевки залегал мелкий песок с обилием живых ракушек, натуральной влажностью 24,42 %, Eh +381 мВ, pH 7,75 (рис. 3.1, ст. 44, 45). Количество Сорг 0,14 - 0,52 %масс, Нобщ 0,03 - 0,06 %масс, C / N 3 - 10, битумоида Ахл от 0,001 до 0,01 г/100 г, НУ - от следовых величин до 8 мг/100 г. При незначительном содержании лабильные компоненты УПС : БПС : Л соотносились как 50 : 3 : 1, напоминая амило-липо-протеиновый комплекс придонного слоя воды. В составе ЛУВК таких донных осадков 19,8 % приходилось на смолы, 8,3 % на полярные липиды, 8,7 % на

триглицериды, 6,6 % на жирные кислоты, 4,9 % на стерины, 3,2 % - воска, небольшую долю составляли диглицериды и жирные спирты - 2,7 %. Доля углеводов равна 42,2 %. Поскольку НУ здесь практически отсутствуют, то углеводороды, по-видимому, автохтонного происхождения.

На глубинах от 25 до 90 м были отобраны пробы серых алевроитовых и пелитовых илов с натуральной влажностью 41,2 - 65,22 %, Eh -65... -120 мВ, и содержанием Сорг 1,81 %масс, Нобщ 0,20 %масс; C/N равно 9. Битумоид Ахл (количество от следовых величин до 0,09 г/100 г) имел элементный состав: 56,19 % С; 6,57 % Н; 8,34 % N и 28,9 % O+S. Это указывает на окисленность, ненасыщенность молекулы битумоида неуглеводородного характера.

Лабильные органические компоненты (подобно типичным илистым донным осадкам) имеют соотношение УПС : БПС : Л как 5 : 2 : 1. В составе ЛУВК было 40,6 % смол, 6,6 % полярных липидов, по 4 % приходилось на стерины, жирные кислоты и триглицериды. Другие компоненты представлены незначительными величинами. Доля углеводов 35 % - характерная для черноморских донных осадков величина.

Зона фитали открытого побережья на глубине 0,5 - 10 м характеризовалась ракушняками и песками. Преобладали частицы размером 1 - 2 мм. Натуральная влажность $18,4 \pm 3,7$ %, количество аммонийного азота $0,09 \pm 0,04$ мг/100 г, битумоида Ахл $0,04 \pm 0,006$ г/100 г.

Морские донные осадки связаны с теми событиями, которые происходят на акватории. В открытом море они отражают действия глобальных процессов: геологических, геохимических, биохимических. В лагунах, бухтах, гаванях донные осадки испытывают воздействие терригенных, техногенных и антропогенных агентов. Как следствие, морской донный осадок приобретает иные физико-, био- и геохимические свойства, меняется его морфология.

Обильное поступление, например, взвеси в береговой зоне приводит к заиливанию крупнозернистых донных осадков. В результате создаются восстановительные условия среды. Под воздействием различных химических веществ, попадающих на дно, может измениться активная реакция среды (рН). Нефтепродукты, накопившиеся в донном осадке, понижают рН среды; бытовые стоки, напротив, его увеличивают. Органические материалы, в том числе углеводородное загрязнение, способствуют концентрации в донном осадке новообразованного органического вещества - битумоида.

Обширный аналитический материал, собранный за период наблюдений над состоянием донных осадков, позволяет сделать следующие выводы. Биогеохимические показатели отражают те свойства, которые приобретает донный осадок под воздействием внешних факторов, в

частности, загрязнения бухт нефтепродуктами. Однако, основным условием воздействия загрязнения является природа самого донного осадка. При этом учитывается гранулометрический состав, количество в донном осадке тонких минеральных частиц и их минералогический состав (глинистые вторичные минералы, например, имеют высокую аккумулялирующую способность, в результате процесс накопления преобладает над процессом преобразования органического вещества).

Одним из важных критериев, устанавливающих привносимые изменения, является хлороформный битумоид Ахл. Концентрация битумоида Ахл в донном осадке связана с накоплением нефтяных углеводородов, степенью углеводородности органического вещества и количеством Сорг (рис. 3.3 А, Б, В). Зависит концентрация Ахл и НУ от Eh среды (рис. 3.3 Г). В окислительных условиях среды Ахл преобразуется значительно быстрее, чем в восстановительных. Результатом является то, что крупнозернистые донные осадки с положительным редокс-потенциалом, как правило, не загрязнены [30].

В случае накопления битумоида Ахл увеличивается не только битумизированность, но и гумифицированность органического вещества, поскольку Ахл тесно связан со специфической для донных осадков частью органического вещества - гуминовыми кислотами [27]. Лабильная составляющая органического вещества также связана с битумоидом Ахл, отражая интенсивность преобразования органического вещества [29]. Чем больше загрязненность донного осадка, тем заметнее изменяется липидно-углеводородный комплекс (табл. 3.3).

Таблица 3.3 Содержание и состав липидно-углеводородного комплекса донных осадков различной степени загрязнения (Ахл, г/100 г)

Фракции, мг/100 г сухого осадка	Ил черный (0,34 – 2,84)	Ил темно- серый (0,14 – 0,33)	Ракушняки (0,01 – 0,05)	Песок (0,003 – 0,01)
ЛУВК	1238	367	82	39
Сумма полярных соединений	384	222	53	17
Углеводороды	954	145	32	22
Фракционный состав, %				
Полярные липиды	16,8	33,2	32,0	25,0
Стерины	3,1	6,0	11,1	8,6
Спирты	1,5	1,7	2,5	2,9
Жирные кислоты	4,8	6,5	11,6	17,2
Триглицериды	3,6	9,9	6,8	11,2
Эфиры жирных кислот	5,8	0,5	6,1	4,3
Воска + эфиры стерин	1,3	0,9	2,4	2,9
Углеводороды	63,1	41,3	27,5	27,9

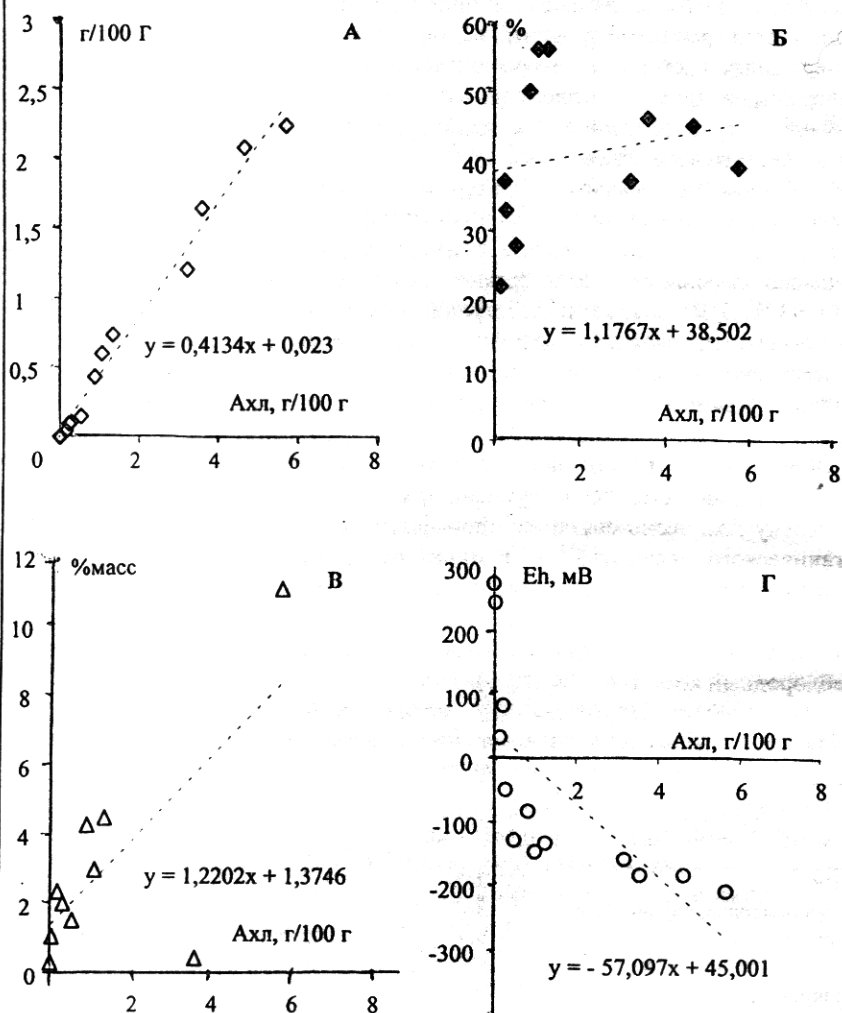


Рисунок 3.3 Соотношение хлороформного битумоида (Ахл) с нефтяными углеводородами (НУ) - А, степенью углеводородности (% НУ от Ахл) - Б, органическим углеродом (Сорг) - В, редокс-потенциалом (Еh) - Г

Учитывая все это, в том числе стабильность загрязненности донных осадков бухт и основные биогеохимические показатели, ниже приводим характеристику донных осадков по основным физико-химическим показателям (материалы 10 - ой санитарно-биологической съёмки 2000 г.). Эти данные могут стать исходными для оценки ситуации на акватории в будущем.

Глава 4. Микробентос бухт и прилегающей акватории

Результаты первых определений нефтеокисляющих микроорганизмов в грунтах Севастопольской бухты (1967-1968 гг.) приведены в табл. 4.1.

Из данных таблицы видно, что максимальное число выделенных из донных осадков культур приходится на *Pseudomonas desmolyticum* и *Bacterium album*.

Рассмотрено распространение бактерий по станциям: максимальное количество видов (по разрезу) выделялось в прибрежных районах, а по мере удаления в сторону открытого моря количество их уменьшалось. Подобное видовое распределение организмов было связано с количеством углеводов в грунтах, данные о которых приведены в табл. 4.2.

Количество нефти (нефтепродуктов) определялось в хлороформных экстрактах грунтов методом спектрофотометрии.

Таблица 4.1 Видовой состав и количество выделенных культур нефтеокисляющих бактерий в донных осадках Севастопольской бухты

Микроорганизмы	Номера станций				Всего культур
	1	2	3	4	
<i>Pseudomonas desmolyticum</i>	1	8	5	1	13
<i>P. sinuosa</i>	-	-	1	-	1
<i>P. liquefaciens</i>	1	1	1	-	3
<i>Bacterium cycloclastes</i>	-	1	-	-	1
<i>B. halophilum</i>	1	4	2	1	8
<i>B. album</i>	3	4	3	1	11
<i>Pseudobacterium ovatum</i>	1	-	-	-	1
<i>P. subluteum</i>	1	-	-	-	1
<i>P. halosmophilum</i>	-	1	-	-	1
<i>Vibrio beijerinckii</i>	-	2	-	-	2
<i>V. cuneatus</i>	2	-	-	-	2
Всего культур	10	21	12	3	47

Примечание: здесь и в табл. 4.2 номера станций соответствуют рис. 1.4 (глава 1)

Таблица 4.2 Содержание нефти в донных осадках

№ станции	1	2	3	4
Концентрация (мг/г)	0,18	0,63	0,18	0,02

связанный кислород нитратов, 22 % - минеральные источники азота. Широко распространены бактерии, разжижающие желатину - 37,5 %. Особенно часто они встречались в вершине бухты, где из 9 изолированных штаммов 6 активно разжижали желатину. Другие протеолитические свойства бактерий из осадков бухты представлены слабо: одна культура вызывала изменение белковой молекулы с образованием аммиака, в двух случаях этот процесс сопровождался выделением сероводорода.

Среди бактериобентоса данного района наиболее распространенными оказались бактерии, способные трансформировать углеводы (62,5 %). Значительно реже встречались формы, вызывающие характерные изменения на пептонной воде с лактозой (12 %) и вызывающие распад крахмала (9,4 %).

Таблица 4.3 Биохимические особенности нефтеокисляющих бактерий

Свойства микроорганизмов	Вода, %	Донные осадки, %
Разжижение желатины	19,8	37,5
Восстановление нитратов	52,3	50,0
Фиксация атмосферного азота	75,6	6,2
Рост на минеральной среде с азотом	-	22,0
Изменение белковой молекулы с образованием аммиака	65,1	3,0
Изменение белковой молекулы с образованием сероводорода	9,3	6,2
Разложение крахмала	11,6	9,4
Подкисление пептонной воды с		
глюкозой	17,4	62,5
лактозой	2,3	12,5
маннитом	3,5	46,9
мальтозой	2,3	44,0
сахарозой	3,5	53,1
Пептонизация белков молока	18,6	9,4
Подщелачивание белков молока	26,7	6,2

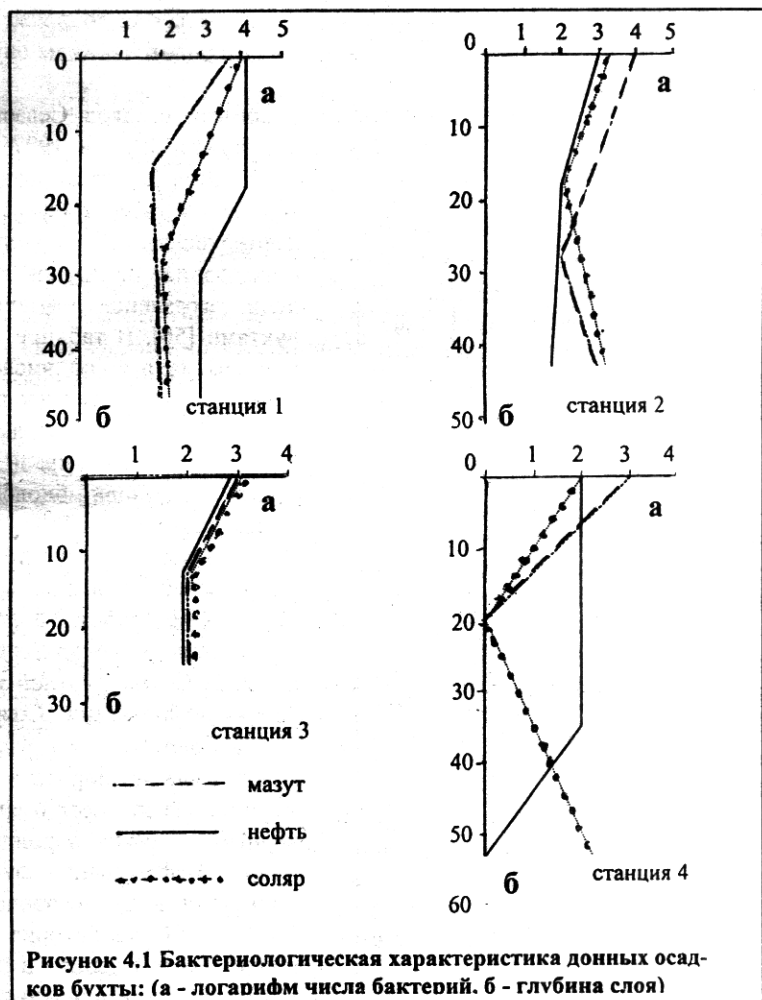
Биохимические особенности выделенных нефтеокисляющих бактерий представлены в табл. 4.3.

Среди нефтеокисляющих бактерий, выделенных из донных отложений, 50 % использо-

Таким образом, бактерии, способные использовать углеводороды в качестве единственного источника углерода и энергии, могут потреблять и другие источники углерода. Последнее необходимо учитывать при расчетах потенциальной бактериальной деструкции нефтяных углеводородов в морской среде. Наряду с бактериями из донных осадков выделялась разнообразная микрофлора, способная расти на нефтяных углеводородах.

С 1973 г. нефтеокисляющая микрофлора продолжала изучаться в общем комплексе экологических съемок севастопольских бухт. При этом основной упор был сделан на исследование микрофлоры донных осадков, собранных послойно.

Численность нефтеокисляющих бактерий в поверхностном слое убывает от 10000 клеток на 1 г грунта в вершине бухты до 100 клеток в открытом море (рис. 4.1).



Такой характер распределения микроорганизмов соответствует накоплению в пределах бухты веществ, растворимых в хлороформе. При этом в грунтах, находящихся в наиболее судоходной части акватории, при повышенной концентрации углеводов (0,46 %) высеваемость исследуемых бактерий на порядок ниже, чем в вершине бухты. Это, связано, по-видимому, с наличием в этих донных осадках резко-восстановительной среды, что подавляюще действует на нефтеокисляющую микрофлору. Глубина проникновения бактерий углеводородокисляющей группы в толщу морских отложений неодинакова для разных станций. В пределах бухты они обнаружены во всех слоях колонок, в открытом море граница их сосредоточения не опускалась глубже 25 см.

Для общей характеристики микрофлоры донных осадков Севастопольских бухт приведены некоторые результаты съемок 1994 и 1997 гг.

Таблица 4.4 Численность нефтеокисляющих бактерий (кл/г) в грунтах Севастопольских бухт

№ ст.	1994	1997	№ ст.	1994	1997
1	250	25	23	1500	250
2	950	45	24	450	450
3	450	25	25	250	95
4	95	34	26	95	250
5	150	95	27	250	150
6	2500	250	28	95	45
7	250	250	29	250	40
8	250	25	30	250	45
9	45	95	31	45	25
10	450	45	32	250	25
11	250	45	33	250	95
12	250	250	34	250	45
13	450	250	35	750	250
14	95	250	36	-	4500
15	450	450	37	-	450
16	-	250	38	-	75
17	45	450	39	-	45
18	-	2500	40	4500	75
19	-	2500	41	-	45
20	450	250	42	-	1500
21	450	9	43	950	950
22	250	450			

(табл. 4.4), с определением количества гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий в акваториях различной степени загрязнения нефтепродуктами [56]. В таблице помещены данные по численности нефтеокисляющих бактерий в донных осадках, пробы которых отбирали по схеме санитарно-биологических съемок.

Помимо характеристики севастопольских бухт проводились работы в двух ограниченных акваториях - вершине бухты Круглой и в районе нефтегавани. Современная часть бухты Круглая ранее была изолирована от моря в виде соляного озера с черным сероводородным илом. Нефтегавань функционирует в Севастополе с 1903 г. Её территория за почти вековой период в значительной мере пропиталась

нефтепродуктами. Следует подчеркнуть, что содержание нефтепродуктов в донных осадках нефтегавани, за исключением 10 - 20 м зоны у берега, значительно ниже, чем в целом по Севастопольской бухте. Это объясняется тем, что основным источником загрязнения акватории нефтегавани являются нефтепродукты, накопившиеся на ее территории и постепенно мигрирующие по уклону к морю, насыщая углеводородами донные осадки узкой прибрежной полосы с малыми глубинами.

В нефтегавани минимальная численность нефтеокисляющих бактерий отмечена в черных пелитовых илах с низким редокс-потенциалом. В вершине б. Круглой отмечена высокая численность нефтеокисляющих и гетеротрофных бактерий. Одним из объяснений этого может служить факт сброса в этом районе ливневых стоков.

Глава 5. Макрозообентос бухт и прилегающего к ним района

Севастопольская бухта. В начале XX века донные биоценозы Севастопольской бухты в основном соответствовали общей схеме биоценозов Черного моря [20], однако, уже в 1928 - 1929 гг. в составе населения илистого грунта Севастопольской бухты, по материалам Севастопольской биостанции, произошли заметные изменения. Мидия стала мало распространенной формой. Вместо биоценоза "мидиевого ила" указывался "комплекс" *Tritia reticulata*, *Nephtys cirrosa*, *Melinna palmata*, *Abra nitida* *milachewichi*. Преобладающей формой бентоса в этот период стала *T. reticulata*, плотность которой составляла от 2 до 100 экз./м² (в среднем 32 экз./м²), а встречаемость до 98 %. Примерно таковы же были плотность населения и встречаемость *N. cirrosa*. По всей бухте равномерно распределена *Cerastoderma glaucum*, местами встречались большие скопления *Bittium reticulatum* [45].

К моменту начала регулярных исследований в 1973 г. (см. рис. 3.1) видовой состав и распределение макрозообентоса в Севастопольской бухте претерпели значительные изменения [38]. В местах, где С.А. Зерновым указывались устричники, был отмечен илистый грунт с очень старыми раковинами устриц, гребешков. В вершине бухты и вблизи берегов находили много створок кардиумов (*Cerastoderma glaucum*), а в средней части бухты встречались очень старые, хрупкие створки мидий – свидетельство бывшего "мидиевого ила". Отмечавшийся в 1928 - 1929 гг. в большом количестве моллюск *Bittium reticulatum*, был встречен только на одной станции у выхода из бухты на песчаном грунте. Не обнаружена полихета *Melinna palmata*, также указывавшаяся ранее в числе массовых форм Севастопольской бухты.

В период 1973-1985 гг. пространственное распределение и количественные характеристики доминирующих видов оставались достаточно стабильными [45, 46]. В эти годы в средней части бухты, где было определено самое высокое содержание хлороформного битумоида (более 2,0 г/100 г), отмечалась очень низкая биомасса макрозообентоса (менее 10 г/м²), либо он

Таблица 5.1 Характеристика макрозообентоса б.Севастопольская

Год	Вся бухта	Участки бухты		
		Вершина	Середина	Устье
Биомасса, г/м ²				
1973	15,05	14,46	15,21	30,80
1976	15,74	27,32	2,57	8,27
1979	19,04	31,14	5,81	10,88
1982	42,54	51,76	0,83	7,96
1985	24,20	30,91	0,06	10,80
1988	18,92	30,86	3,33	10,63
1991	39,72	65,85	18,50	21,08
1994	296,19	101,78	419,25	404,52
1997	208,32	118,47	94,71	354,97
Численность, экз./м ²				
1973	204	145	140	403
1976	195	197	30	233
1979	78	103	21	83
1982	83	176	2	21
1985	111	250	30	49
1988	1359	2164	181	926
1991	1548	1949	1372	1341
1994	2534	2999	2324	2185
1997	2755	3597	3920	1140
Количество видов				
1973	23	11	8	21
1976	17	10	1	13
1979	13	7	1	10
1982	10	8	1	4
1985	15	9	2	9
1988	33	27	12	7
1991	29	21	7	22
1994	53	23	17	49
1997	52	26	22	44

вообще отсутствовал (табл. 5.1). Так, в 1973 г. на пяти станциях не было обнаружено никаких живых организмов макрозообентоса, в 1976 г. - на трех, в 1979 и 1982 гг. - на двух, в 1985 г. - на одной станции. Почти повсеместно доминировала *Tritia reticulata* (70 % и более станций). На ряде станций кроме тритии и иногда полихет, других видов не встречалось.

В устье б. Севастопольской обитали преимущественно трития и нефтисы (*Nephtys hombergii* и *N. cirrosa*), реже - *Parvicardium exiguum*, *Abra nitida milachewichi* и отдельные экземпляры *Gouldia minima*, *Lucinella divaricata* и др. В отдельные годы *N. hombergii* наравне с тритией являлся на этом участке бухты доминирующим видом. Общая биомасса измерялась единицами, реже десятками граммов на квадратный метр.

Наиболее богат бентос в вершине бухты (см. табл. 5.1), где наблюдалось большое количество *T. reticulata*, *Cerastoderma glaucum*, отмечались отдельные экземпляры молоди *G. minima*, *Chamelea gallina*, *Polititapes aurea*, *A. n. milachewichi*. Общая биомасса бентоса здесь порядка десятков и сотен граммов на квадратный метр. Доминировала *C. glaucum*, причем в 1982 г. было отмечено большое количество крупных экземпляров (до 29 мм длиной), биомасса которых составляла 140,0 - 230,0 г/м². В 1982 г. впервые за период исследований найдена *Hydrobia acuta* в количестве от 200 до 1545 экз./м². В 1985 г. она распро-

стралилась и в центральную часть бухты, но при значительно меньшей численности - до 300 экз./м².

Средняя биомасса макрозообентоса в 1973 - 1985 гг. (см. табл. 5.1) в основном была существенно ниже, чем в 1928-1929 гг., когда она достигала 55,53 г/м² [45]. Высокая средняя биомасса в 1982 г. была обусловлена значительным количеством церастодермы больших размеров на двух станциях в вершине бухты. Если не учитывать эти две станции, то она составит $7,98 \pm 3,86$ г/м², что ниже данных предшествующих лет.

Сравнение дисперсий величин биомассы по критерию Фишера и Стьюдента показало значимое отличие данных 1928 - 1929 гг. от всех последующих лет и незначимое отличие данных 1973-1985 гг. друг от друга.

Индекс видового разнообразия Шеннона [89] в эти годы составлял в основном менее 1,0, достигая на отдельных станциях в вершине бухты 1,48-1,75, вблизи выхода - 1,75-2,2 (рис. 5.1). Наиболее низкие величины этого показателя наблюдались в средней части бухты, где отмечено очень большее содержание хлороформного битумоида: в 1976-1982 гг. вследствие полного отсутствия макробентоса или наличия только одного вида индекс Шеннона имел здесь нулевые значения.

Трофическая структура бентоса Севастопольской бухты в 70-е годы, как на илах, так и на крупнозернистых донных осадках характеризовалась преобладанием плотоядных (табл. 5.2), т.к. и на тех, и на других доминирующим видом являлся плотоядный брюхоногий моллюск *Tritia reticulata*. В 1982-1985 гг. существенно возросла доля сестонофагов за счет увеличения



Рисунок 5.1 Индекс видового разнообразия Шеннона (среднее значение и пределы колебаний) для макрозообентоса б. Севастопольская

Таблица 5.2 Трофическая структура макрозообентоса на различных участках Севастопольской бухты (% от биомассы).

Год	Район	Сестонофаги	Детрито-фитофаги	Плотоядные
1973	Вершина	1,6	11,4	87,0
	Середина	1,2	15,3	83,6
	Устье	0,5	13,2	86,3
1976	Вершина	8,0	2,5	89,5
	Середина	-	-	100,0
	Устье	10,3	14,6	75,1
1979	Вершина	4,9	8,2	86,9
	Середина	2,0	0,4	97,6
	Устье	2,6	0,9	96,5
1982	Вершина	71,2	0,7	28,0
	Середина	-	-	100,0
	Устье	-	2,1	97,9
1985	Вершина	66,4	3,2	30,4
	Середина	-	100,0	-
	Устье	0,1	0,3	99,6
1988	Вершина	33,2	21,5	45,3
	Середина	10,0	44,6	45,4
	Устье	-	3,5	96,5
1991	Вершина	69,1	10,1	20,8
	Середина	38,5	33,8	27,7
	Устье	61,7	6,2	32,1
1994	Вершина	75,8	11,6	12,6
	Середина	97,0	0,7	2,3
	Устье	88,4	1,8	9,8
1997	Вершина	71,0	19,3	9,7
	Середина	63,5	15,7	20,8
	Устье	92,3	2,7	5,0

Наиболее богат бентос в вершине бухты. Здесь наблюдали сотни и тысячи экземпляров на 1 м² гидробий, большое количество тритий, церастодермы, биттиума, кроме того много видов моллюсков, ракообразных и полихет. Вблизи выхода из бухты, помимо тритии встречались *Nephtys hombergii*, *Abra renieri*, *Abra nitida milachewichi*, *Capitella capitata* и др. [42]. Трития доминировала практически везде, где она встречалась, за исключением вершины бухты (ст. 2), где доминирующим видом являлась церастодерма. В число основных видов опять входил *Bittium reticulatum* (табл. 5.3). На четырех станциях найдены мидии.

биомассы *Cerastoderma glaucum*. Однако эти изменения затронули только вершинную часть бухты. В 1988 г. наметилась тенденция роста видового разнообразия и количественных характеристик макрозообентоса. Количество видов возросло вдвое по сравнению с предыдущими годами (см. табл. 5.1, рис. 5.1), однако средние значения биомассы остались на прежнем уровне, т.к. многие виды встречались лишь на отдельных станциях и единичными экземплярами.

Пространственное распределение бентоса существенно не изменилось: очень бедный бентос отмечался в центральной части бухты, где найдены только единичные экземпляры полихет сем. Spionidae с биомассой менее 0,1 г/м².

Таблица 5.3 Характеристика основных видов макрозообентоса Севастопольской бухты (1988 – 1997 гг.)

Виды	1988			1991			1994			1997		
	р	а	в	р	а	в	р	а	в	р	а	в
<i>Nereidae</i>	29	8	0,06	36	6	0,02	75	18	0,70	50	27	0,39
<i>Nephtys sp.</i>	29	7	0,17	43	6	0,34	31	2	0,18	27	11	0,19
<i>Polydora ciliata</i>	71	267	0,10	21	17	0,01	56	19	0,01	60	15	0,01
<i>Tritia reticulata</i>	71	61	9,36	79	33	9,02	94	47	19,22	73	35	15,75
<i>Hydrobia acuta</i>	50	117	0,26	93	1214	3,45	94	1717	3,42	100	1912	4,33
<i>Bittium reticulatum</i>	29	262	2,12	86	58	0,51	50	31	0,60	53	29	0,47
<i>Cerastoderma glaucum</i>	50	184	3,12	86	26	26,08	88	91	36,37	100	131	44,28
<i>Abra ovata</i>	-	-	-	14	2	0,49	56	21	2,22	87	43	7,47
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	33	69	3,40	21	2	0,03	44	58	225,99	33	48	111,76

Примечание: р – встречаемость, %, а – численность, экз.*м⁻², в – биомасса, г*м⁻².

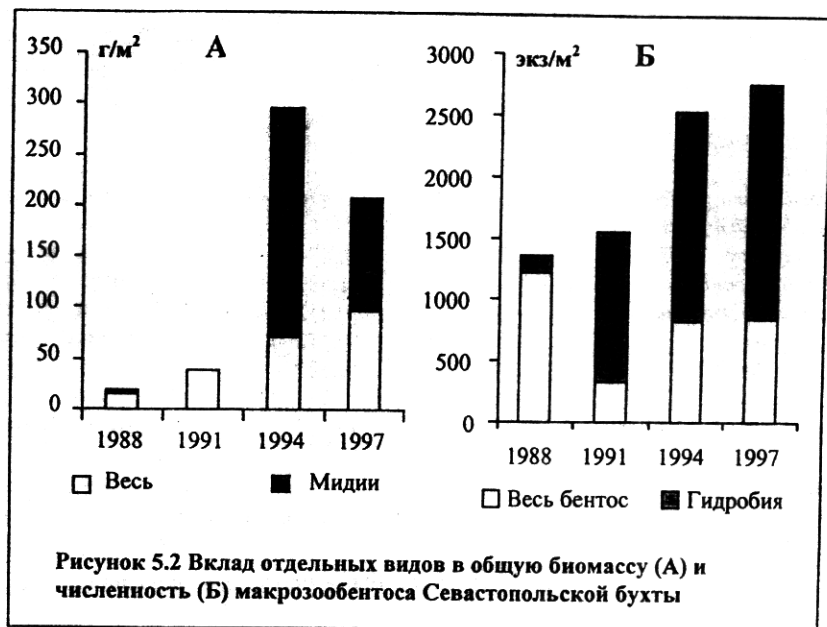
В трофической структуре бентоса сохранилось преобладание плотоядных при достаточно высокой доле детритофагов в центральной части бухты и фильтраторов в вершине (см. табл. 5.2).

В 1991 г. средние значения численности и биомассы были выше, чем в 1988 г., причем на всех участках бухты (см. табл. 5.1). Увеличение численности макробентоса связаны с ростом численности *H. acuta*, которая составляла 78 % от общей численности бентосных животных. Высокая плотность поселений гидробии обнаружена в вершине и средней части бухты - до 1975 экз./м². Сохранился характер пространственного распределения бентоса, но заметно возросло количество видов в устье бухты. Состав основных видов не изменился при существенном росте встречаемости большинства из них, за исключением полихеты *P. ciliata* (см. табл. 5.3). Следует отметить распространение *C. glaucum* и *H. acuta* в устье Севастопольской бухты, где в предыдущие годы они почти не встречались.

Резкий рост количественных показателей макрозообентоса отмечен в Севастопольской бухте в 1994 г.: почти вдвое возросли количество видов и численность бентоса и почти на порядок - биомасса (см. табл. 5.1). Изменилось пространственное распределение: количественные показатели бентоса возросли при продвижении от вершины бухты к ее устью. Биомасса бентоса на большинстве станций составляла от нескольких десятков до нескольких сотен граммов на кв. метр, за исключением одной станции в средней части бухты, где найдено только несколько экземпляров гидробии. В пробах 7 станций присутствовали мидии крупных размеров, что в значительной степени определило высокую среднюю биомассу макрозообентоса в целом. Из 52 отмеченных видов макробентоса только 9 видов обнаружены на половине и более станций (кроме указанных в табл. 5.3, часто встречались *Capitella capitata* и *Rissoa parva* - в 62,5 % и 50 % случаях, соответственно). В то же время 31 вид был найден на одной - двух станциях, при этом 26 видов - только в устье бухты.

Прежний видовой состав бентоса сохранился практически полностью. Помимо этого, в 1994 г. в бухте найдены не встречавшиеся ранее представители Anisopoda, Isopoda, Polychaeta. Особенно следует отметить *Eteone picta* и *Pectinaria koreni*, характерные для менее загрязненных районов, несколько видов брюхоногих и двустворчатых моллюсков. Состав видов-доминантов не изменился (см. табл. 5.3), но в 1994 г., отмечено существенное (в 2 - 3 раза) увеличение биомассы *Cerastoderma glaucum* в вершине и середине бухты, *Tritia reticulata* - в средней части бухты.

В 1997 г биомасса, плотность бентоса и его видовое разнообразие оставались на достаточно высоком уровне (см. табл. 5.1, рис. 5.1). Сохранился и общий характер распределения: биомасса макрозообентоса наиболее высо-



ка в устье бухты, а численность – в вершине и средней части [2]. Донные осадки в вершине и центральной части бухты в основном заселены сообществом *Cerastoderma* – *Abra* – *Tritia* – *Hydrobia*. Церастодерма доминировала на большинстве станций, за исключением ст. 3 и 5, где найдены мидии, и ст. 8, с гидробией. Мидии доминировали на отдельных участках в устье бухты. Плотноядная трития, преобладая в 70 - 80-е годы повсеместно, в 1991 - 1994 гг. доминировала только на четырех станциях, а в 1997 г. занимала субдоминирующее положение. В целом, наибольший вклад в общую биомассу бентоса в 1994-1997 гг. вносят мидии, в общую численность – гидробия (рис. 5.2). Многочисленность *H. acuta* зарегистрирована в вершине и средней части бухты; достигая значений 6975 экз./м^2 в 1994 г. и 6550 экз./м^2 – в 1997 г.; максимальная биомасса мидий в 1994 г. - $1371,5 \text{ г/м}^2$ (ст. 13), в 1997 г. - $1502,0 \text{ г/м}^2$ (ст. 17).

Вследствие увеличения биомассы фильтраторов (в первую очередь церастодермы и мидий), с начала 90-х годов в трофической структуре бентоса Севастопольской бухты на всех участках наблюдалось устойчивое преобладание сестонофагов (см. табл. 5.2).

В вершине и центральной части бухты преобладали устойчивые к загрязнению виды. У выхода из бухты в составе сообщества отмечалось сни-

Таблица 5.4 Характеристика макрозообентоса Килен-бухты.

Вид	Биомасса, г/м ²			Численность, экз./м ²		
	Вершина	Середина	Устье	Вершина	Середина	Устье
<i>Capitella capitata</i>	-	0,101	0,002	-	78	6
<i>Nereis succinea</i>	-	0,014	4,442	-	10	50
<i>Abra nitida mila-chewichi</i>	-	0,046	-	-	7	-
<i>Cerastoderma glaucum</i>	-	14,180	3,476	-	19	44
<i>Modiolus adriaticus</i>	-	0,001	-	-	3	-
<i>Polititapes sp.</i>	-	-	0,084	-	-	6
<i>Hydrobia acuta</i>	0,097	2,907	1,589	19	913	663
<i>Rissoa membranacia</i>	-	-	0,252	-	-	38
<i>Rissoa parva</i>	-	-	0,173	-	-	100
<i>Rissoa splendida</i>	-	-	0,581	-	-	25
<i>Tritia reticulata</i>	-	-	3,738	-	-	6
Всего	0,097	17,247	14,337	19	1029	938

жение роли устойчивых видов и значительное развитие видов, характерных для менее загрязненных районов (*Chamelea gallina*, *Modiolus adriaticus*, *Dio-genes pugilator* и др.).

Помимо регулярного отбора проб были проведены локальные съемки на отдельных участках б. Севастопольская.

Килен-бухта. Макрозообентос в Килен-бухте исследовали на 4-х станциях в 1991 г. (см. рис. 3.2, III). В вершине бухты найдено только несколько экземпляров *Hydrobia acuta* (табл. 5.4). В центральной части бухты среди 6 видов доминировали *Cerastoderma glaucum* и *H. acuta* (более 90 % общей численности и биомассы). В устье бухты, где показатели загрязнения донных осадков не столь высоки, увеличилось число видов при сходных значениях численности и биомассы. На этом участке определены более высокие значения индекса видового разнообразия Шеннона (2,29) по сравнению с другими частями бухты (0,58 - 0,95).

В трофической структуре бентоса центральной части бухты преобладали фильтраторы (72 - 88 % от общей биомассы), а в устье бухты существенно возросла доля детритофагов (49 %) и плотоядных (26 %).

Аквагория б. Артиллерийская - м. Хрустальный (см. рис. 3.2, V). В исследованном районе в 1997 г. макрозообентос был распределен неравномерно (табл. 5.5): низкие значения биомассы отмечались непосредственно в б. Артиллерийская, особенно около выпуска ливневых вод (1,3 г/м²).

Максимальные значения биомассы отмечены в районе мыса Хрустальный - 399,7 г/м². Численность макробентоса была на всех станциях достаточно высока - от 1 до 8,5 тыс. экз./м². Понижение численности (менее 1

Таблица 5.5 Характеристика макрозообентоса акватории б. Артиллерийская – м. Хрустальный.

Вид	Биомасса, г/м ²		Численность, экз./м ²	
	б. Артиллерийская	м. Хрустальный	б. Артиллерийская	м. Хрустальный
<i>Balanus improvisus</i>	0,08	24,24	4	838
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,47	0,03	205	29
<i>Capitella capitata</i>	5,83	0,32	3251	374
<i>Polydora ciliata</i>	3,52	0,11	1532	245
<i>Spio filicornis</i>	-	0,11	-	115
<i>Staurocephalus kefersteini</i>	-	0,01	-	13
<i>Lepidochitona cinerea</i>	-	0,40	-	32
<i>Bittium reticulatum</i>	-	5,27	-	156
<i>Nana neritea</i>	0,50	1,78	8	19
<i>Tritia reticulata</i>	21,52	50,50	23	91
<i>Cerastoderma glaucum</i>	-	28,57	-	66
<i>Chamelea gallina</i>	-	47,75	-	23
<i>Mytilaster lineatus</i>	-	1,13	-	16
<i>Parvicardium exiguum</i>	-	1,95	-	16
Прочие	1,51	6,05	175	238
Всего	33,42	168,21	5197	2269
Количество видов	17	41		

тыс. экз./м²) наблюдалось у выхода ливневых вод и на одной станции у мыса. В б. Артиллерийской были многочисленными виды, устойчивые к загрязнению - *Tritia reticulata*, *Capitella capitata* и *Polydora ciliata*. Несмотря на то, что в районе м. Хрустального количественные показатели этих видов достаточно высоки, на половине станций доминировали двустворчатые моллюски (*Cerastoderma glaucum* и *Chamelea gallina*). Здесь встречались виды, приуроченные к относительно чистым районам (*Modiolus adriaticus* и *Lepidochitona cinerea* и др.). Общее количество видов и индекс видового разнообразия Шеннона были значительно выше, чем в б. Артиллерийская.

Существенно различалась трофическая структура бентоса. Так, в б. Артиллерийской сестонофаги отсутствовали, на двух станциях доминировали плотоядные (65 - 78 % от общей биомассы бентоса), на одной – детритофаги (97 %). В районе м. Хрустального доля сестонофагов составляла в среднем 49 %. Они доминировали на двух станциях (63 - 78 %), на двух других – плотоядные (63 - 70 %).

Южная бухта. Южная бухта была подвержена значительному антропогенному влиянию еще с начала XX века, однако в ней отмечали вдоль берегов «кусочки» заиленного и загрязненного отбросами устричника, в кото-

ром находились, кроме живых устриц, гребешки, мидии, кардиумы, нассы (тритии) [20]. Только в самом конце бухты грунт был «без всякой фауны».

В 1928 - 1929 гг. в Южной бухте еще встречалось некоторое количество живых макроорганизмов, среди которых преобладали *Tritia reticulata* (5 - 30 экз./м²), *Nephtys hombergii* (5 - 35 экз./м²), *Abra nitida milachewichi* (5 - 20 экз./м²), а в самой вершине бухты - *Abra ovata* (60 экз./м²) [45].

В целом бухта Южная отличалась от других бухт в районе Севастополя низким разнообразием макробентоса - за период с 1973 по 1997 гг. здесь найдено только 22 вида (табл. 5.6). В 1973 г. из семи выполненных станций только на одной, расположенной вблизи выхода из бухты (см. рис. 3.1), был обнаружен 1 экземпляр *Nereis succinea*, что в пересчете на 1 м² составило биомассу 1,35 г/м² [38]. В 1976 г. в дночерпательных пробах не было живых организмов, однако, с помощью драги были найдены несколько экземпляров *Nereis succinea*, *Perinereis cultrifera*, *Mytilus galloprovincialis*, *Tritia reticulata* и

Таблица 5.6 Состав макрозообентоса Южной бухты.

Вид	Год							
	1973	1979	1982	1985	1988	1991	1994	1997
<i>Abra nitida milachewichi</i>						+		
<i>Abra ovata</i>						+	+	+
<i>Aphroditidae</i>							+	
<i>Balanus improvisus</i>						+	+	+
<i>Bittium reticulatum</i>				+		+	+	
<i>Capitella capitata</i>					+		+	
<i>Cerastoderma glaucum</i>				+		+	+	+
<i>Chamelea gallina</i>						+		
<i>Ctenicella appendiculata</i>								+
<i>Cumacea</i>							+	+
<i>Gammaridae</i>								+
<i>Hydrobia acuta</i>				+	+	+	+	+
<i>Mytilus galloprovincialis</i>							+	+
<i>Nephtys hombergii</i>								+
<i>Nereis diversicolor</i>			+		+	+	+	+
<i>Nereis succinea</i>	+			+		+	+	+
<i>Odostomia rissoides</i>				+				+
<i>Parthenina sp.</i>								+
<i>Parvicardium exiguum</i>					+			
<i>Polydora ciliata</i>					+	+		+
<i>Rissoa parva</i>						+	+	
<i>Tritia reticulata</i>		+		+		+	+	+
Количество видов	1	1	1	6	5	12	13	15

Примечание: "+" указывает на присутствие вида

Табл. 5.7 Средние значения численности и биомассы макрозообентоса б. Южная

Год	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
1973	3	0,45
1979	2	1,38
1982	2	0,69
1985	70	10,1
1988	259	1,1
1991	808	20,5
1994	1709	82,5
1997	937	50,4

у *Nereis diversicolor* (2,87 г/м²), а численность - у *P. ciliata* (663 экз./м²). Средние значения численности и биомассы макрозообентоса в период 1973 - 1988 гг. имели очень низкие показатели (табл. 5.7).

В 1991 - 1997 гг. в существенно возросло видовое разнообразие макрозообентоса, его численность и биомасса значительно превысили показатели предыдущих лет (см. табл. 5.7). Доминирующим видами являлись *Cerastoderma glaucum* или *Tritia reticulata*, высокие показатели численности имелись у *Hydrobia acuta*. Необычно, что в эти годы наибольшие количественные показатели бентоса (более 2000 экз./м² и 70,0 г/м²) отмечены в вершине бухты. В 1997 г. у выхода из бухты (ст. 12) были обнаружены мидии.

Павловский мыс. В июне 1991 г. макрозообентос исследовался на 4-х станциях полигона в районе м. Павловский на границе б. Южная и б. Севастопольская (см. рис. 3.2, IV). На станции, наиболее продвинутой вглубь б. Южная, найдены представители только двух видов сем. Capitellidae (табл. 5.8). Такое состояние бентосных сообществ характерно для центрального района б. Южная. Видовое разнообразие и количественные показатели макрозообентоса на остальных станциях значительно выше. Высокие значения биомассы определены присутствием крупных экземпляров *Cerastoderma glaucum* и многочисленностью тритии. Видовой состав бентоса на этих станциях достаточно близок (индекс сходства 0,5-0,7). Индекс видового разнообразия Шеннона равнялся 1 - 1,64. На всех исследованных станциях руководящую роль в бентосных сообществах играли устойчивые к нефтяному загрязнению виды, такие как *T. reticulata*, *B. reticulatum*, *C. glaucum*, *Hydrobia acuta*. Доля этих видов в общей численности и биомассе бентоса составили более 90 %.

асцидия. В 1979 и 1982 гг. макрозообентос не был обнаружен на ст. 10 и 11. В 1979 г. на станции 12 найден 1 экземпляр *Tritia reticulata*, что составило 4,14 г/м², в 1982 г. - *Nereis diversicolor* (5 экз./м²; 2,07 г/м²) [45].

В 1985 г. в глубине бухты отмечен только 1 экземпляр *Nereis succinea*. В центральной части и у выхода из бухты найдены тритии, гидробии и церастодерма [41]. В 1988 г. в вершине бухты макрозообентос не был обнаружен, а в центральной части бухты был найден лишь 1 экземпляр *P. ciliata*. У выхода из бухты среди 5 видов наибольшая биомасса была

Таблица 5.8 Характеристика макрозообентоса в районе м.Павловский.

Виды	Биомасса, г/м ²			Численность, экз./м ²		
	б. Южная	м. Пав- ловский	б.Севасто- польская	б. Южная	м. Павлов- ский	б.Севасто- польская
<i>Balanus improvisus</i>	-	0,150	-	-	7	-
<i>Iphinoe tenella</i>	-	0,008	-	-	3	-
<i>Pantopoda</i>	-	-	0,010	-	-	6
<i>Capitella capitata</i>	0,001	0,031	-	6	31	-
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,146	-	-	44	-	-
<i>Nereis succinea</i>	-	0,006	-	-	3	-
<i>Platynereis dumerilii</i>	-	0,585	-	-	3	-
<i>Polydora ciliata</i>	-	0,005	0,008	-	16	31
<i>Abra ovata</i>	-	0,151	-	-	3	-
<i>Cerastoderma glaucum</i>	-	29,415	-	-	25	-
<i>Mytilaster lineatus</i>	-	0,928	0,603	-	3	25
<i>Bittium reticulatum</i>	-	5,330	7,084	-	588	756
<i>Hydrobia acuta</i>	-	1,284	0,266	-	391	63
<i>Odostomia pallida</i>	-	-	0,051	-	-	6
<i>Rissoa membranacea</i>	-	-	0,424	-	-	69
<i>Rissoa parva</i>	-	0,096	0,432	-	16	69
<i>Rissoa splendida</i>	-	-	0,231	-	-	31
<i>Tritia reticulata</i>	-	26,611	33,919	-	97	88
Bcero	0,147	64,598	43,028	50	1186	1144

Таблица 5.9 Состав макрозообентоса б.Карантинная.

Виды	Годы			
	1973	1979	1982	1988
Nemertini	+			
<i>Capitella capitata</i>	+		+	+
<i>Nephtys cirrosa</i>	+			
<i>Nephtys hombergii</i>	+	+	+	+
Spionidae				+
<i>Spio filicornis</i>				+
<i>Scolecopsis fuliginosa</i>	+			
<i>Polychaeta</i> var.			+	
Gammaridae	+			
<i>Diogenes pugilator</i>	+	+		
<i>Hydrobia acuta</i>				+
<i>Bittium reticulatum</i>	+			
<i>Tritia reticulata</i>	+		+	+
<i>Balanus improvisus</i>		+		
<i>Abra nitida milachewichi</i>	+	+		+
<i>Abra renieri</i>		+		
<i>Cerastoderma glaucum</i>	+	+		+
<i>Chamelea gallina</i>		+		
<i>Gouldia minima</i>	+			
<i>Pitar rudis</i>	+	+		
<i>Fabulina fabula</i>	+			+
<i>Lucinella divaricata</i>	+	+		
<i>Moerella tenuis</i>		+		
<i>Edwardsia clapedi</i>	+			
Число видов	16	11	4	9

Карантинная бухта.

В этой бухте пробы отбирали на четырех станциях в 1973 г., на двух - в 1979, 1991, 1994, 1997 гг. и на одной в 1982 и 1988 гг.

Состав макрозообентоса в 1973-1988 гг. включал 4 - 16 видов макрозообентоса (табл. 5.9). Доминировала трития - от 71 % биомассы в 1973 г. до 98 % в 1988 г. Наиболее низкое видовое разнообразие отмечалось в 1988 г. Состав макрозообентоса в 1979 г. отличался от такового других лет отсутствием мелких полихет семейств Spionidae и Capitellidae, характерных для районов, богатых органическим веществом [45]. Количественные показатели бентоса в эти годы были низкими, только в 1988 г. средняя биомасса превысила 20 г/м² (табл. 5.10).

Таблица 5.10 Количественные показатели и трофическая структура (в % от общей биомассы) макрозообентоса в б. Карантинная (период 1973 - 1997 гг.)

Показатель	1973	1979	1982	1988	1991	1994	1997
Численность, экз. /м ²	318	107	125	491	745	370	1545
Биомасса, г/м ²	10,60	9,65	2,81	27,64	12,19	62,17	99,02
Количество видов	16	11	4	9	19	23	35
Индекс Шеннона	0,8-2,2	1,2-2,0	0,3-0,7	0,2-1,9	2,1-2,2	1,2-1,6	1,1-1,5
Сестонофаги, %	10,4	11,1	-	0,6	26,9	89,6	35,2
Детритофитофаги, %	18,8	4,0	7,5	1,4	17,3	2,7	42,9
Плотоядные, %	70,8	84,8	92,5	98,1	55,8	7,7	21,9

В 1991 г. при том же уровне плотности и биомассы макрозообентоса его видовое разнообразие значительно увеличилось (табл. 5.11). Присутствовало много видов моллюсков, однако, количественные показатели были невелики, поэтому сохранилось доминирование *T. reticulata*. Наибольшие значения численности отмечены для полихет *Heteromastus filiformis* и *C. capitata*.

Рост видового разнообразия и количественных показателей макробентоса наблюдали в Карантинной бухте в 1994 - 1997 гг. (см. табл. 5.10, 5.11). В 1994 г. здесь доминировала *Cerastoderma glaucum*, а в 1997 г. - *Abra ovata*, *Chamelea gallina* и *Tritia reticulata*. Отмечалась достаточно высокая биомасса (несколько граммов на квадратный метр) моллюсков *Lucinella divaricata* (1994 - 1997 гг.); *Spisula subtruncata*, *Pitar rudis*, *T. reticulata* (1994 г.), *Nana donovani*, *Cerastoderma glaucum* (1997 г.), рака-отшельника *Diogenes pugilator* (1997 г.). Высокие значения численности отмечены у *L. divaricata*, *Abra ovata* и полихет из семейств Capitellidae, Spionidae и Syllidae.

Стрелецкая бухта. По описанию С. А. Зернова, Стрелецкая бухта при входе была занята мелким серым илистым песком с большим количеством нефтисов; далее в бухте был почти безжизненный ил, ближе к западной стороне встречались устричники, а в самой глубине бухты, под zostерой - много биттиумов и очень большие абры [20]. В 1973 г. найдено 10 видов (табл. 5.12). В центре бухты не было отмечено ни одного макроорганизма. В вершине бухты находились заросли zostеры с многочисленной *Abra ovata*, и небольшим количеством *Tritia reticulata*, *Nephtys hombergii*, *Perinereis cultrifera*. У выхода из бухты преобладала *Lucinella divaricata*, отмечалось также много мелких полихет *Capitella capitata* [38].

В 1976 г. в Стрелецкой бухте были взяты только качественные пробы драгой, в которых изобиловали *Tritia reticulata*, *Parvicardium exiguum*, *Abra renieri* и, на отдельных станциях - *Nephtys hombergii*. В 1979 году в Стрелецкой бухте на двух станциях не было найдено живых организмов макрозообентоса, и на одной (ст. 29) отмечены три вида. В 1982 г. в вершине бухты были также обнаружены три вида макрозообентоса, а ближе к выходу - только *T. reticulata* [45]. В 1985 г. трития не отмечена, *A. ovata* встречена только в виде молоди длиной около 2 мм. При общих низких значениях биомассы и плотности бентоса эти показатели были выше в центральной части (200 г/м^2 и $6,2 \text{ экз./м}^2$), где доминировали *Cerastoderma glaucum* или *Nephtys hombergii*. В устье бухты доминировали полихеты *N. hombergii*.

Таким образом, макрозообентос б.Стрелецкая в 1973 - 1985 гг. характеризовался обедненным видовым составом и низкими значениями численности и биомассы. Значения индекса видового разнообразия Шеннона в основном не превышали 1,0, за исключением 1985 г.

Таблица 5.11 Основные виды макрозообентоса в бухте Карантинная в 1991-1997 гг.

Виды	Биомасса, г/м ²			Численность, экз./м ²		
	1991 г.	1994 г.	1997 г.	1991 г.	1994 г.	1997 г.
Gammaridae	0,022	0,028	0,011	28	10	35
<i>Capitella capitata</i>	0,475	0,074	0,075	372	47	430
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,280	-	0,006	182	-	15
<i>Nereis succinea</i>	0,443	0,028	-	10	3	-
<i>Polydora ciliata</i>	0,033	0,016	0,007	48	13	25
Syllidae	0,013	0,044	-	22	50	-
<i>Hydrobia acuta</i>	-	0,200	0,150	-	38	35
<i>Tritia reticulata</i>	6,804	4,757	18,050	13	10	25
<i>Abra ovata</i>	0,261	0,975	38,965	3	10	210
<i>Cerastoderma glaucum</i>	0,008	45,288	1,065	3	50	55
<i>Chamelea gallina</i>	0,224	0,704	31,22	7	3	10
<i>Fabulina fabula</i>	0,069	0,025	-	3	3	-
<i>Lucinella divaricata</i>	-	2,523	1,000	-	63	40
<i>Loripes lucinalis</i>	1,471	-	-	10	-	-
<i>Mytilaster lineatus</i>	0,897	-	-	3	-	-
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,040	-	0,055	7	-	5
<i>Parvicardium exiguum</i>	0,549	1,156	0,295	7	13	45
<i>Pitar rudis</i>	-	3,169	-	-	10	-
<i>Spisula subtruncata</i>	0,017	2,764	0,170	3	10	25
Прочие	0,588	0,420	7,955	28	41	590
Всего	12,190	62,170	99,022	745	370	1545

Таблица 5.12 Характеристика макрозообентоса б. Стрелецкая в 1973 - 1985 гг.

Виды	Биомасса, г/м ²				Численность, экз./м ²			
	1973	1979	1982	1985	1973	1979	1982	1985
<i>Capitella capitata</i>	0,09	-	-	0,01	17	-	-	13
<i>Glycera alba</i>	0,02	-	-	-	1	-	-	-
<i>Glycera tridactyla</i>	-	-	-	0,03	-	-	-	7
<i>Nephtys cirrosa</i>	-	-	-	0,01	-	-	-	7
<i>Nephtys hombergii</i>	0,09	0,33	-	1,28	3	7	-	5
<i>Ophelia limacina</i>	-	-	-	0,01	-	-	-	2
<i>Perinereis cultrifera</i>	0,04	-	-	-	1	-	-	-
<i>Scolecopsis fuliginosa</i>	0,04	-	-	-	4	-	-	-
Gammaridae	-	-	-	0,01	-	-	-	2
<i>Bela nebula</i>	-	-	-	0,02	-	-	-	2
<i>Gibbula adriatica</i>	-	-	0,50	-	-	-	5	-
<i>Hydrobia acuta</i>	-	-	-	0,13	-	-	-	38
<i>Tritia reticulata</i>	1,60	7,80	12,25	-	1	10	23	-
<i>Abra ovata</i>	3,60	-	10,00	0,01	24	-	75	12
<i>Cerastoderma glaucum</i>	0,01	0,01	-	1,08	1	2	-	5
<i>Parvicardium exiguum</i>	0,17	-	-	-	4	-	-	-
<i>Lucinella divaricata</i>	0,23	-	-	-	10	-	-	-
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	-	-	-	0,01	-	-	-	2
Всего	5,89	8,14	22,75	2,55	69	19	103	93
Индекс Шеннона	0,57	0,08	0,48	0,91				

Значительно изменился видовой состав макробентоса в 1988 г.: было найдено 33 вида бентоса, однако большинство из них встречались лишь на одной из четырех выполненных станций.

В вершине бухты доминировала *C. glaucum*, отмечались сотни особей на кв. метр полихет *C. capitata*, *H. filiformis*. В средней части бухты преимущество было за тритией и церастодермой, а в устье – за тритией и *Abra ovata*. На этом же участке бухты наблюдалось и наибольшее видовое разнообразие (19 видов). Индекс видового разнообразия Шеннона составлял 1,56-1,92 на большинстве станций, кроме вершины бухты (0,45). В 1991 г. средняя биомасса макрозообентоса более чем в 5 раз превысила таковую предыдущей съемки (табл. 5.13). Численность и биомасса бентоса были максимальны в средней части бухты (1077 экз./м^2 и $413,9 \text{ г/м}^2$), где доминировала *Chamelea gallina*. В вершине бухты преобладала *T. reticulata*, а у выхода – сестонофаги *Chamelea gallina* и *Polititapes sp.* На этих участках биомасса бентоса была на порядок ниже. В 1994 г. отмечено снижение биомассы бентоса при увеличении количества видов.

Наибольшее число видов (28 видов), численность и биомасса бентоса отмечены в вершине бухты. Здесь доминировал комплекс *T. reticulata*, *C. glaucum* и *A. ovata*, наблюдалась высокая численность гидробии. В центральной части количество видов и их показатели значительно снижались.

Встретились несколько видов полихет, в небольшом количестве абра, гидробия, биттиум. У выхода из бухты численность и биомасса возрастали, но оставались на 1 - 2 порядка ниже, чем в вершине; основными видами были *Parvicardium exiguum*, *Perinereis cultrifera*, *Capitella capitata*. Не обнаружены в 1994 г. встречавшиеся ранее *L. divaricata*, *D. pugilator*, *Ch. gallina*, *G. minima*, *S. subtruncata*, *Polititapes sp.*, *Pitar rudis*, *Modiolus adriaticus*.

В 1997 г. количественные характеристики бентоса существенно отличались от данных предыдущей съемки (см. табл. 5.13). Численность была наиболее высока в вершине бухты (1820 экз./м^2) за счет гидробии, а биомасса – в средней части бухты ($822,8 \text{ г/м}^2$), где найдено большое количество асцидий и крупных мидий. Определено значительное снижение биомассы бентоса в устье Стрелецкой бухты, здесь обнаружены только единичные экземпляры рака-отшельника и кумовых.

В составе макрозообентоса б. Стрелецкая в 1988-1997 г. достаточно широко представлены основные таксономические группы черноморского макрозообентоса (табл. 5.14). Однако основной вклад в общую биомассу и плотность внесли моллюски. Исключение составлял 1988 г., когда вследствие интенсивного развития *Capitella capitata* по всей бухте доля многощетинковых червей в общей численности бентоса превышала 80 %.

Таблица 5.13 Характеристика макрозообентоса б.Стрелецкая в 1988 - 1997 гг.

Виды	Биомасса, г/м ²				Численность, экз./м ²			
	1988	1991	1994	1997	1988	1991	1994	1997
<i>Capitella capitata</i>	0,12	0,01	0,08	0,01	583	14	60	13
<i>Polydora ciliata</i>	0,01	0,17	0,01	0,01	57	8	11	18
<i>Hydrobia acuta</i>	0,08	0,04	0,99	1,64	24	8	119	343
<i>Nana neritea</i>	-	0,51	2,01	-	-	5	28	-
<i>Tritia reticulata</i>	2,98	10,86	8,68	5,23	5	22	14	8
<i>Bittium reticulatum</i>	0,35	5,98	0,42	0,58	22	186	13	10
<i>Abra ovata</i>	0,54	0,56	16,80	0,72	3	2	144	10
<i>Cerastoderma glaucum</i>	13,73	0,24	3,51	1,57	31	3	6	65
<i>Chamelea gallina</i>	0,22	98,54	-	-	3	39	-	-
<i>Lucinella divaricata</i>	0,05	3,19	-	-	8	99	-	-
<i>Mytilus gallioprovincialis</i>	-	0,01	0,14	115,04	-	2	49	8
<i>Ascidia aspersa</i>	-	-	-	86,05	-	-	-	75
Прочие	0,76	10,38	4,10	3,16	180	95	165	195
Всего	18,84	130,47	36,75	214,01	916	482	608	743
Число видов / индекс Шеннона (среднее)*	32	26	35	25	1,42	1,03	2,02	1,63

Примечание: число видов указано в столбце "Биомасса", индекс Шеннона - в столбце "Численность".

Таблица 5.15 Трофическая структура макрозообентоса Стрелецкой бухты (в % от общей биомассы).

Группы	Годы			
	1988	1991	1994	1997
Сестонофаги	85,5	77,3	17,1	55,2
Детритофаги	5,5	6,5	53,3	41,9
Плотоядные	9,0	16,1	29,6	2,9

Таблица 5.14. Характеристика крупных таксономических групп макрозообентоса Стрелецкой бухты.

Таксономические группы	Годы			
	1988	1991	1994	1997
Биомасса, г/м ²				
Polychaeta	1,32	0,45	2,12	0,39
Crustacea	0,04	0,24	0,11	0,03
Gastropoda	18,27	13,36	34,87	3,81
Bivalvia	80,38	85,95	62,87	55,56
Прочие	-	-	0,02	40,21
Численность, экз./м ²				
Polychaeta	83,97	10,49	14,56	12,46
Crustacea	1,75	1,66	4,40	9,09
Gastropoda	5,87	46,47	45,00	50,51
Bivalvia	8,41	41,38	35,50	17,85
Прочие	-	-	0,53	10,10
Количество видов				
Polychaeta	14	7	11	8
Crustacea	3	2	7	5
Gastropoda	4	5	9	6
Bivalvia	11	12	7	5
Прочие	-	-	1	1

лась в пределах 15,56 - 128,48 г/м², а численность - 750-5019 экз./м². Количество видов макрозообентоса при продвижении к вершине бухты уменьшалось [3].

Более высокие значения биомассы отмечались на трех станциях, расположенных ближе к центральной части бухты на глубине 1 - 2 м (табл. 5.16). Численность макрозообентоса была в среднем выше на глубине менее 1 м и определялась большим количеством гидробии и полихет *Nereis diversicolor* и *Capitella capitata*. Эти виды, а также *Cerastoderma glaucum* присутствовали на всех станциях исследованного участка бухты.

Трофическая структура зообентоса в Стрелецкой бухте в 70-е годы, как и в Севастопольской бухте, характеризовалась преобладанием плотоядных (82,0 % общей биомассы), за счет тритии [42]. К концу 80-х годов (табл. 5.15) отмечалось значительное увеличение доли фильтраторов, а в 1994 - 1997 гг. - детритофагов.

Значения индекса видового разнообразия Шеннона в 1988 - 1991 гг. на большинстве станций превышали 1,0, а в 1994 - 1997 гг. - 2,0 (см. табл. 5.13).

В июне 1990 г. была проведена локальная бентосная съемка вершины бухты. По трем поперечным разрезам выполнено 8 станций на глубинах 0,5 - 1,5 м (см. рис. 3.2, VII). Биомасса макрозообентоса в исследованной части бухты изменялась

Таблица 5.16 Характеристика макрозообентоса вершины б. Стрелецкая.

Виды	Биомасса, г/м ²		Численность, экз./м ²	
	H < 1 м (5)*	H > 1 м (3)	H < 1 м (5)	H > 1 м (3)
<i>Capitella capitata</i>	0,66	0,03	305	122
<i>Polydora ciliate</i>	-	0,01	-	6
<i>Nereis diversicolor</i>	7,87	0,67	1401	464
<i>Synisoma capito</i>	0,01	0,03	1	4
<i>Sphaeroma pulchellum</i>	0,01	0,03	1	31
<i>Cumacea</i>	-	0,01	-	10
<i>Lepidochitona cinerea</i>	-	0,07	-	4
<i>Nana donovani</i>	-	11,10	-	133
<i>Bittium reticulatum</i>	-	0,36	-	12
<i>Hydrobia acuta</i>	6,54	3,35	1511	867
<i>Rissoa membranacia</i>	0,06	0,26	4	38
<i>Rissoa splendida</i>	0,01	-	3	-
<i>Setia valvatoidea</i>	0,02	-	11	-
<i>Mytilaster lineatus</i>	1,05	5,69	4	35
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,04	-	1	-
<i>Cerastoderma glaucum</i>	17,98	45,83	182	498
<i>Polititapes sp.</i>	-	15,33	-	6
<i>Chamelea gallina</i>	-	1,16	-	4
<i>Abra ovata</i>	7,68	-	20	-
Всего	40,93	83,93	3444	2234

* В скобках указано количество станций

соответственно 2901 экз./м² и 16,48 г/м².

Практически на всех станциях доминировала *C. glaucum*. Вместе с тем крупные экземпляры этого моллюска встречались единично и, в основном, преобладали особи размером 3 - 10 мм. На глубинах менее 1 м на илах с зарослями zostеры и рдеста основной комплекс видов *Cerastoderma* - *Nereis* - *Abra* - *Hydrobia*, который составлял 98 % биомассы и 90,4 % численности бентоса (см. табл. 5.16). В вершинной части бухты доминировала абра, причем преобладали крупные особи (22 - 24 мм) этого моллюска. На данном участке существенна доля детритофагов - в среднем 54,5 % от общей биомассы. В расположенных ближе к центральной части бухты на глубине более 1 м донных осадках увеличилась доля песчаных фракций. Здесь абра не встречена, биомасса nereisa снизилась, значительно возросла биомасса моллюсков-сестонофагов *Mytilaster lineatus*, *Chamelea gallina*, *Polititapes sp.* и плотоядной *Nana donovani*; преобладали фильтраторы (в среднем 81 % от общей биомассы). Индекс видового сходства макрозообентоса участков на

Максимальные значения численности и биомассы гидробионты составили 1800 экз./м² и 6,45 г/м² соответственно. При достаточно высокой численности (до 750 экз./м²) биомасса capitellid в основном не превышала 1 г/м².

Количественные показатели популяции *N. diversicolor* возрастали при продвижении к вершине бухты. Максимальные значения численности и биомассы nereisa отмечены в центре этого участка -

глубинах менее 1 м составлял 0,67 - 1,0, а макрозообентоса этих участков с такими большими глубинами - в основном 0,5 - 0,6.

Круглая бухта (Омега). В начале XX века эту бухту населяла «богатая фауна чистой воды». К числу донных животных, которых было «очень много и много», относились *Bittium reticulatum*, *Lucinella divaricata*, *Moerella tenuis*, *Gouldia minima* [20].

Позже, несмотря на возросшую рекреационную нагрузку, донные биоценозы бухты в основном не изменились: преобладают виды, характерные для биотопы чистого прибрежного песка (табл. 5.17).

В период с 1973 по 1982 гг. в бухте Круглая было найдено 14 видов макрозообентоса (6 - 9 в отдельные годы). Количественные показатели бентоса были относительно невелики: биомасса в среднем менее 30 г/м², численность менее 500 экз./м². В 1982 г. основными видами были *Chamelea gallina*, *Tritia reticulata* и *Gouldia minima*, отмечены *Diogenes pugilator*, *Lucinella divaricata*. В отдельные годы встречались единичные экземпляры *Pitar rudis*, *Spisula subtruncata*, *Amphioxus* sp. [45]. Индекс видового разнообразия Шеннона составлял от 1 до 2,2.

В 1988 г. при сходном видовом обилии значительно возросла биомасса и численность макрозообентоса (табл. 5.18). Доминировала *Chamelea gallina* (98 % от общей биомассы), отмечалась высокая численность *Caecum elegans*, *Lucinella divaricata* и *Staurocephalus kefersteini* [42].

В 1991 - 1994 гг. увеличилась биомасса и количество видов бентоса. Как и в прошлые годы доминировали фильтраторы: в 1991 г. - *Ch. gallina*, *Modiolus adriaticus*, *Cerastoderma glaucum*; в 1994 г. - *Ch. gallina*, *Pitar rudis*, *L. divaricata*. В 1994 - 1997 г. отсутствовали *Nana neritea*, *C. glaucum* и несколько видов полихет, в основном представители загрязненных районов (*P. ciliata*, *Nephtys hombergii*, *Heteromastus filiformis* и др.). В 1997 г. произошло значительное уменьшение биомассы бентоса, но состав доминирующих видов не изменился - *Ch. gallina*, *P. rudis*, *L. divaricata*. В последнее время возросла биомасса брюхоногих моллюсков - *Tritia reticulata* и *Gibbula adriatica*.

Таблица 5.17 Характеристика основных видов макрозообентоса б. Круглая в 1973-1982 гг.

Виды	Биомасса, г/м ²			Численность, экз./м ²		
	1973	1977	1982	1973	1977	1982
<i>Bittium reticulatum</i>	1,79	-	-	90	-	-
<i>Tritia reticulata</i>	8,05	-	22,50	5	-	15
<i>Gouldia minima</i>	0,60	1,64	0,55	17	19	15
<i>Chamelea gallina</i>	6,12	12,06	4,61	50	17	20
<i>Moerella donacina</i>	-	0,96	-	-	16	-
<i>Moerella tenuis</i>	2,00	-	-	30	-	-

Таблица 5.18 Характеристика макрозообентоса б. Круглая в 1988-1997 гг.

Виды	Биомасса, г/м ²				Численность, экз./м ²			
	1988	1991	1994	1997	1988	1991	1994	1997
<i>Exogone gemmifera</i>	-	-	-	0,02	-	-	-	1172
<i>Pectinaria koreni</i>	-	0,540	-	-	-	3	-	-
<i>Stauropetalus kefersteini</i>	0,02	0,02	0,05	0,09	213	53	144	297
<i>Tritia reticulata</i>	-	7,22	5,02	-	-	6	3	-
<i>Bittium reticulatum</i>	-	0,31	0,24	0,06	-	10	3	3
<i>Calyptrea chinensis</i>	-	0,33	0,81	0,07	-	10	35	7
<i>Chamelea gallina</i>	96,82	97,79	141,60	20,79	251	200	357	63
<i>Gouldia minima</i>	0,72	1,93	0,62	-	13	16	3	-
<i>Lucinella divaricata</i>	0,38	6,22	2,49	-	75	129	38	-
<i>Modiolus adriaticus</i>	-	31,78	3,78	0,01	-	63	38	3
<i>Polititapes sp.</i>	1,06	-	-	-	13	-	-	-
<i>Spisula subtruncata</i>	-	2,02	0,39	0,10	-	25	25	16
Прочие	1,70	12,06	8,53	3,32	265	172	561	1034
Всего	100,68	160,21	165,96	24,46	830	685	1221	2594
Число видов	12	26	37	33				

Таблица 5.19 Трофическая структура макрозообентоса б. Круглая (в % от общей биомассы).

Группа	Год					
	1973	1982	1988	1991	1994	1997
Сестонофаги	44,5	19,8	99,8	93,6	93,8	85,7
Детритофитофаги	17,0	0,4	0,2	1,3	3,1	9,8
Плотоядные	38,5	79,8	0,0	5,1	3,1	4,4

Рост плотности бентоса в 1994 - 1997 гг. вызван увеличением численности полихет, которые составляли 40 - 70 % от общей численности макрозообентоса.

В трофической структуре бентоса бухты преобладали сестонофаги (табл. 5.19). Только в 1982 г. была существенной роль плотоядных, когда, при низком видовом разнообразии, доминировала *Tritia reticulata*. Индекс видового разнообразия Шеннона в 1988-1997 гг. варьировал от 1,14 до 2,14.

Вершина бухты Круглая. В вершине б.Круглая на глубинах менее 1 м макрозообентос исследовали в 1992, 1994 и 1997 гг. (см. рис. 3.2 - VIII). На этом участке бухты макрозообентос был представлен 35-40 видами при высоких значениях численности и биомассы. Только в 1994 г. на большинстве станций биомасса была менее 50 г/м², что обусловило снижение и средних

значений (табл. 5.20). Доминировал комплекс *Abra ovata* - *Cerastoderma glaucum*, причем на илах биомасса абры была в 2-3 раза выше, чем церастодермы, на песках наблюдалось обратное соотношение. Отмечалась высокая численность гидробии, а в 1997 г. кроме того полихет (в основном представители семейств Capitellidae, Spionidae).

В отличие от других севавтопольских бухт в этом районе был достаточно разнообразный состав ракообразных (Gammaridea, Caprellidea, Isopoda, Anisopoda, Cumacea), однако численность и биомасса их, за исключением бокоплавов и *Iphinoe tenella*, как правило невысоки.

В 1994 г. на одной станции был найден 1 экз. *Mya arenaria* (длина раковины 26 мм), что составило 6 экз./м² и 8,438 г/м². В последующих исследованиях этот вид в данном районе нами не отмечался.

Таблица 5.20 Характеристика макрозообентоса вершины б. Круглая в 1992-1997 гг.

Наименование видов	Численность, экз./м ²			Биомасса, г/м ²		
	1992	1994	1997	1992	1994	1997
<i>Capitella capitata</i>	-	233	818	-	0,02	0,10
<i>Heteromastus filiformis</i>	-	35	-	-	0,06	-
<i>Glycera tridactyla</i>	11	11	8	0,23	0,46	0,06
<i>Nereis diversicolor</i>	24	199	93	1,87	17,05	1,45
<i>Spio filicornis</i>	-	86	633	-	0,02	0,39
Chironomidae	91	5	2393	0,31	0,01	2,59
<i>Ampelisca diadema</i>	-	11	38	-	0,02	0,03
<i>Dexamine spinosa</i>	-	11	53	-	0,06	0,02
<i>Diogenes pugilator</i>	46	-	-	4,30	-	-
<i>Idotea baltica basteri</i>	3	30	35	0,02	0,14	0,10
<i>Hydrobia acuta</i>	362	1021	2460	1,31	3,14	5,59
<i>Nana donovani</i>	33	8	135	4,67	0,46	14,64
<i>Nana neritea</i>	-	14	85	0	1,55	8,53
<i>Rissoa membranacea</i>	39	19	50	0,54	0,30	0,43
<i>Tritia reticulata</i>	4	-	-	5,70	-	-
<i>Abra ovata</i>	1098	473	1128	64,15	46,19	164,38
<i>Cerastoderma glaucum</i>	41	121	483	19,48	18,48	177,66
<i>Parvicardium exiguum</i>	39	-	-	1,39	-	-
<i>Chamelea gallina</i>	170	2	-	106,91	1,72	-
<i>Lucinella divaricata</i>	31	-	3	1,14	-	0,01
<i>Mya arenaria</i>	-	2	-	-	2,11	-
<i>Mytilaster lineatus</i>	20	5	-	0,16	0,18	-
<i>Spisula subtruncata</i>	90	-	3	89,67	-	0,21
Прочие	141	207	1103	7,39	1,57	2,82
Всего	2241	2489	9519	309,24	93,54	379,00
Число видов	35	35	41	35	35	41

В трофической структуре бентоса на илах преобладали детритофаги (70-80% от общей биомассы), а на песках – фильтраторы (60-90%).

Камышовая бухта. На карте С.А. Зернова Камышовая бухта была почти до половины занята биоценозом зарослей морской травы zostеры, далее к выходу располагались пески с двумя большими пятнами мидиевого ила [20]. Местами отмечался «биоценоз мертвых растений» с черным илом почти лишенным зобентоса.

В 1973 г. в вершинной части Камышовой бухты еще наблюдались заросли zostеры с обилием *Cerastoderma glaucum*. Наиболее бедна макрозообентосом была центральная часть бухты, почти лишенная живых организмов еще в начале XX века, а теперь к тому же расчищаемая при дноуглубительных работах. Здесь на двух станциях не обнаружены живые макроорганизмы, на одной – только *Tritia reticulata*. У выхода из бухты доминировали *Gouldia minima*, *Moerella donacina*, *Polititapes sp.* [38].

В 1976 г. общее распределение бентоса не изменилось: наиболее обедненной оставалась центральная часть бухты. Значительно реже встречалась церастодерма, но стало больше *Gouldia minima*, *Abra nitida milachewichi*. Немного увеличилась численность *Triria reticulata*. В 1979 и 1982 гг. биомасса церастодермы возросла и составляла в эти годы соответственно 90,6 % и 50,5 % от общей биомассы макрозообентоса. В связи с этим, биомасса макрозообентоса в 1979 г. и 1982 г. превышала значения предыдущих лет (табл. 5.21).

В 1979 г. высокие значения биомассы бентоса отмечались и в центральной части бухты (до 153 г/м²). В этом году на одной станции в вершине бухты доминировала *Tritia reticulata*, а на одной станции в устье – *Polititapes sp.*. На всех остальных станциях доминировала *Cerastoderma glaucum*. В 1982 г., в вершине б. Камышовой преобладали *C. glaucum*, *Polititapes sp.* и *Loripes lucinalis*. Наиболее бедной была средняя часть бухты, где найдены только несколько экземпляров *Nephtys hombergii*. Ближе к выходу встречались в большом количестве *Pitar rudis*, *Polititapes sp.*, *Gouldia minima* и др. К 1985 г. в вершине бухты построены причалы, поэтому заросли zostеры уже не отмечены. Бентос был представлен малым количеством полихет и гидробий. В центральной части бухты доминировала трития, в небольших количествах встречались гидробии, церастодерма (молодь), биттиум, нефтисы. В устье бухты отмечен сходный состав видов, но доминировала *Nana peritea*. Средняя биомасса макрозообентоса в бухте Камышовая в 1985 г. снизилась по сравнению с предыдущими годами [42].

Индекс видового разнообразия Шеннона в 1973 - 1982 гг. в вершине и центральной части бухты в основном не превышал 1,0, только в устье поднимаясь до 1,4 - 2,15.

Таблица 5.21 Характеристика макрозообентоса б. Камышовая в 1973-1985 гг.

Виды	Биомасса, г/м ²					Численность, экз./м ²				
	1973	1976	1979	1982	1985	1973	1976	1979	1982	1985
<i>Nephtys hombergii</i>	-	0,14	-	0,06	0,19	-	7	-	4	9
<i>Diogenes pugilator</i>	-	-	0,10	0,07	-	-	-	1	1	-
<i>Hydrobia acuta</i>	0,03	-	-	-	0,11	4	-	-	-	59
<i>Tritia reticulata</i>	6,70	7,13	6,68	4,50	1,66	4	8	8	6	2
<i>Acanthocardia tuberculata</i>	-	4,45	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>A. paucicostata</i>	-	10,77	-	-	-	-	6	-	-	-
<i>Cerastoderma glaucum</i>	1,52	-	91,01	19,53	0,56	20	-	42	14	16
<i>Chamelea gallina</i>	-	0,94	11,76	2,50	-	-	2	6	4	-
<i>Gouldia minima</i>	0,94	1,31	0,93	0,14	-	10	17	1	1	-
<i>Lucinella divaricata</i>	0,05	0,01	0,08	0,18	-	2	1	6	9	-
<i>Moerella donacina</i>	1,40	-	-	0,36	-	4	-	0	1	-
<i>Pitar rudis</i>	-	-	0,83	2,21	-	-	-	2	4	-
<i>Polititapes sp.</i>	0,82	-	2,46	8,93	-	4	-	1	4	-
Прочие	0,56	1,04	0,37	0,88	0,45	16	23	28	21	34
Всего	12,01	25,79	114,21	39,37	2,97	64	64	94	69	120
Число видов	8	11	10	16	12					

Таблица 5.22 Характеристика макрозообентоса б. Камышовая в 1988-1997 гг.

Виды	Биомасса, г/м ²				Численность, экз./м ²			
	1988	1991	1994	1997	1988	1991	1994	1997
<i>Capitella capitata</i>	0,02	0,02	0,03	0,01	114	26	53	47
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,01	0,11	0,08	0,13	31	107	93	176
<i>Melinna palmata</i>	-	0,01	0,79	2,31	-	4	139	243
<i>Nephtys hombergii</i>	0,14	0,16	0,54	1,93	17	3	14	22
<i>Nereis succinea</i>	-	0,07	0,08	0,06	-	3	2	1
<i>Pectinaria coreni</i>	-	0,01	0,18	0,03	-	1	4	7
<i>Polydora ciliata</i>	0,02	-	-	0,01	81	-	-	17
Spionidae g. sp.	-	-	0,01	0,11	-	4	11	114
Cumacea g. sp.	-	-	-	0,01	-	1	2	22
<i>Diogenes pugilator</i>	1,32	0,99	0,68	0,08	6	8	6	4
Gammaridae g. sp.	-	-	0,53	0,03	6	-	115	44
<i>Bittium reticulatum</i>	1,15	1,08	0,82	0,83	85	58	27	31
<i>Hydrobia acuta</i>	0,07	0,01	0,25	0,07	25	2	78	11
<i>Tritia reticulata</i>	18,18	6,91	6,40	7,70	22	8	10	7
<i>Abra nitida milachewichi</i>	0,03	-	-	1,11	7	-	1	4
<i>Abra ovata</i>	-	1,01	9,76	9,00	-	5	143	68
<i>Abra renieri</i>	0,82	0,13	0,05	-	9	2	-	-
<i>Cerastoderma glaucum</i>	32,34	28,37	26,05	34,10	59	26	24	46
<i>Chamelea gallina</i>	30,46	37,73	18,36	39,74	18	40	13	27
<i>Lucinella divaricata</i>	0,11	0,15	0,41	0,22	4	4	19	15
<i>Mytilaster lineatus</i>	-	0,07	0,51	0,88	-	1	11	15
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	0,20	-	10,37	25,62	3	-	9	7
<i>Parvicardium exiguum</i>	0,27	0,72	2,74	1,74	3	5	28	21
<i>Polittapes sp.</i>	5,19	6,43	4,99	-	1	1	3	-
Прочие	0,95	3,30	8,90	25,49	107	48	154	521
Всего	91,27	87,28	92,52	151,21	597	357	960	1472
Число видов	37	40	67	51				

Таблица 5.23 Средние значения количественных показателей макрозообентоса на различных участках б. Камышовая.

Показатель	Год	Участок бухты		
		Вершина	Середина	Устье
Численность, экз./м ²	1988	368	897	525
	1991	505	221	334
	1994	828	1222	905
	1997	1247	480	947
Биомасса, г/м ²	1988	69,28	111,39	92,56
	1991	90,28	113,50	58,28
	1994	91,68	65,64	108,26
	1997	158,40	31,04	257,54
Количество видов	1988	12	24	27
	1991	14	15	32
	1994	19	35	57
	1997	26	18	17

ты на разных станциях доминировали *Abra reniery*, *Tritia reticulata*, *C. glaucum*, местами отмечалась достаточно высокая биомасса *Chamelea gallina*, *Politiitapes sp.* У выхода из бухты доминировали виды комплекса *Ch. gallina*, *T. reticulata*, *C. glaucum*, наблюдалась высокая численность *Bittium reticulatum*, полихет *Polydora ciliata*, *C. capitata*. В 1991 г. наиболее распространенными видами были *Heteromastus filiformis* (встречаемость 88,9 %), *C. capitata*, *C. glaucum*, *Ch. gallina* (по 66,7 %), *T. reticulata*, *B. reticulatum* (по 55,6 %). У остальных видов встречаемость составляла 11 – 30 %, часть из них обитала только в вершине бухты (4 вида), другие - только в устье (16 видов). Средняя биомасса макрозообентоса существенно не отличалась от таковой в 1988 г., но отмечено снижение ее значений в устье бухты и рост в вершине (табл. 5.23). В вершине бухты были сосредоточены церастодерма и трития, в центре - *Ch. gallina*, а в устье *Ch. gallina* и *Politiitapes sp.*. Максимальная биомасса в 1988 - 1991 гг. регистрировалась в средней части бухты, а численность - в вершине.

В 1994 г. в б. Камышовая средние показатели биомассы бентоса существенно не изменились, но увеличилась его численность и количество видов на всех участках бухты (см. табл. 5.19). Из общего количества только 9 видов найдены более чем на половине станций - *Melinna palmata* (встречаемость 76,9 %), *H. filiformis*, *C. glaucum* (69,2 %), *C. capitata*, *Parvicardium exiguum* (61,5 %), *Nephtys hombergii*, *A. ovata*, *T. reticulata* (53,9 %). Суммарная средняя биомасса их составила 50,72 г/м² (54,8 %), а численность - 619 экз./м² (64,4 %). Более половины видов встречались только на 1 - 2 станциях.

В 1988 - 1991 гг. сохранялась сильная мозаичность в распределении бентоса (биомасса колебалась от 0,12 до 279,47 г/м²), но в среднем его количественные характеристики заметно возросли (табл. 5.22). В 1988 г. в вершине бухты доминировала церастодерма (до 99 % от общей биомассы). В значительных количествах присутствовали гидробия, *Diogenes pugilator*, *Capitella capitata*. В середине бух-

Из них 3 вида - только в вершине, 5 - только в середине и 28 - только в устье бухты.

Поменялся видовой состав в вершинной части бухты, где, в частности, не найдены *T. reticulata* и *Bittium reticulatum*. В центральной части также отмечены глубокие изменения. Из ранее здесь встречавшихся не отмечены 5 видов (*A. renieri*, *Polititapes* sp., *Calyptrea chinensis*, *Platynereis dumerei*, *P. ciliata*), но наблюдалась большая численность бокоплавов, встречены ракотшельник, кумовые, равноногие, несколько видов полихет (особенно многочисленной была *M. palmata*), несколько видов брюхоногих и двустворчатых моллюсков. При этом на порядок снизилась биомасса *Ch. gallina* и в 1,5 - 3 раза увеличилась биомасса церастодермы и тритии. В районе выхода из бухты возросло видовое разнообразие среди ракообразных и моллюсков. Высокая биомасса отмечена для *P. rudis*, *A. ovata*, *Mytilus galloprovincialis*.

Доля устойчивых к загрязнению видов, например *T. reticulata*, *C. capitata*, *Nephtys hombergii*, *Diogenes pugilator* в 1991-1994 гг. в среднем по бухте составила около 10 % общей биомассы (в 1988 г. - 26,1 %), что значительно ниже, чем в других районах, например, в б. Севастопольской и в б. Южной. Из чувствительных, слабо устойчивых к загрязнению видов, в бухте встречены *Modiolus adriaticus*, *Calyptrea chinensis* и *Ch. gallina*. Вместе с тем, при продвижении к вершине бухты доля устойчивых видов увеличивалась, а доля чувствительных видов снижалась. Это вместе со снижением количества видов, свидетельствует о худших условиях среды в вершине бухты по сравнению с устьем.

Обеднение видового состава макрозообентоса (1 - 3 вида) отмечено в 1991 г. также в средней части бухты и вблизи выхода, но поскольку донные осадки здесь практически не загрязнены, то данное явление может быть связано с проведением дноуглубительных работ. В 1994 г. наблюдалось восстановление бентосного сообщества на ст. 41 - биомасса была максимальна для всей бухты при большом количестве видов (24).

В 1997 г. основной состав макрозообентоса существенно не изменился (см. табл. 5.22). Наибольшее распространение имели *Heteromastus filiformis* (встречаемость 88,9 %), *Melinna palmata*, *C. glaucum* (77,8 %), *Capitella capitata*, *Nephtys hombergii* (66,7 %). Кумовые и бокоплавы встречались на половине станций. Встречаемость *T. reticulata* - менее 50 %. У остальных видов встречаемость составляла 11 - 30 %, часть из них обитала только в вершине бухты (*Abra nitida milachewichi*, *Hydrobia acuta*, *Nereis succinea*, *Polydora ciliata*), средней части (*Phyllodoce* sp., *Spisula subtruncata*, *Loripes lucinalis*) или в устье (16 видов, в том числе *Chamelea gallina*, *Pitar rudis*, *Modiolus adriaticus*, *Gouldia minima*, *Calyptrea chinensis*, *Pectinaria coreni*,

Таблица 5.24. Трофическая структура макрозообентоса б. Камышовая (в % от общей биомассы)

Группы	Годы								
	1973	1976	1979	1982	1985	1988	1991	1994	1997
Сестонофаги, %	39,4	68,8	94,0	87,4	18,9	76,0	87,8	77,4	84,0
Детрито-фитофаги, %	4,8	3,0	0,1	0,8	5,1	3,9	4,1	14,9	9,5
Плотоядные, %	55,8	28,2	5,9	11,8	76,0	20,1	8,1	7,7	6,5

Lepidochitona cinerea). В вершине и средней части бухты доминировал комплекс *Cerastoderma glaucum* - *Abra ovata* - *Tritia reticulata*, довольно многочисленны были полихеты из семейств Spionidae и Capitellidae; на одной станции найдены мидии (более 200 г/м²). В устье бухты доминировали фильтраторы *Ch. gallina*, *P. rudis*, *M. adriaticus*, отмечалась значительная численность полихет *H. filiformis* и *M. palmata* (до 1000 экз./м² и более)

Средняя биомасса макрозообентоса возросла по сравнению с 1994 г., но отмечалось снижение ее значений в средней части бухты и увеличение в вершине и устье (см. табл. 5.22). Особенностью данного года было большее количество видов бентоса в вершине бухты по сравнению с устьем. Однако, в связи с резким доминированием отдельных видов, индекс Шеннона в вершине бухты не превышал 1,0, тогда как на других участках составлял 1,6 - 2,4. Трофическая структура бентоса Камышовой бухты как на илистых, так и на крупнозернистых грунтах в целом характеризовалась преобладанием сестонофагов, за исключением 1973 и 1985 гг. (табл. 5.24). Однако, на отдельных станциях (в основном в вершине и центральной части бухты) доля плотоядных и фильтраторов могла быть примерно одинаковой.

Казачья бухта удалена от города и практически чистая. По описанию С.А. Зернова вдоль берегов Казачьей бухты располагались сплошные заросли zostеры и цотамогетана на грунте – «кардиевом иле». Глубже шел песок и ракушечный песок. В песке отмечалось много *Loripes lucinalis*, амфиоксусы и очень белый *Lepadogaster*. Среднюю часть бухты занимали небольшие участки черного ила с мертвой zostерой [20].

В 1977 г. в вершине бухты преобладала церастодерма, в средней части бухты и у выхода основными видами были *Chamelea gallina*, *Moerella donacina*, *Gouldia minima*. В средней части и в вершине отмечено много *Polititapes aurea*, который в других бухтах в больших количествах не встречался. Указанный С. А. Зерновым амфиоксус отмечен только у выхода из бухты в количестве 2 экз./м². В основном, донные биоценозы Казачьей бухты изменились мало [45].

В 1977 и 1986 г. производился отбор проб донных осадков в вольерах для морских млекопитающих и на контрольном "чистом" участке акватории б. Казачья. На исследованных участках грунт населен разнообразной фауной. Всего в 1977 г. отмечено более 50 видов донных животных, из которых 22 вида встречалось на контрольном участке и 43 – в вольерах. Следует отметить достаточно высокую численность зообентоса ($98-734 \text{ экз./м}^2$) при значительной биомассе (до 238 г/м^2) на контрольном участке на протяжении всего года. Однако, если бентос контрольного участка представлен в основном моллюсками, то среди донного населения вольеров много полихет (около 30 % всех видов), которые считаются показателями органического загрязнения. Количественные характеристики бентоса в вольерах также ниже, чем на контрольном участке, несмотря на большее разнообразие отмечаемых видов (табл. 5.25). Индекс видового сходства бентоса в вольерах и на контрольном участке невысок – 0,37.

Среди общего количества видов как на контрольном участке, так и в вольерах, около половины из них встречались эпизодически (только на одной из станций). Наиболее распространенные виды на контрольном участке – *Chamelea gallina*, *Diogenes pugilator*, *Moerella donacina*, *Gouldia minima*, *Lucinella divaricata*, *Pitar rudis*; в вольерах – *Nana neritea*, *Abra alba*, *Tritia reticulata*, *Bittium reticulatum*, *Parvicardium exiguum*. Эти же виды являлись доминирующими на соответствующих участках бухты. Таким образом, хотя моллюски и составляли более 90 % биомассы на всех исследованных участках, тем не менее только на контрольном "чистом" участке доминировали фильтраторы, а в вольерах – преимущественно детритофаги и плотоядные. Это свидетельствует о повышенном уровне органического загрязнения донных осадков в районе вольеров.

В 1986 г. в составе макрозообентоса в общей сложности отмечено 40 видов. Несмотря на некоторое изменение видового состава (индекс видового сходства 1977-1986 гг. составил 0,3-0,47), тенденции распределения бентоса по сравнению с 1977 г. существенно не изменились: в вольерах при большем числе видов количественные характеристики бентоса ниже, чем на контрольном участке. Снизилось количество видов брюхоногих моллюсков. В вольерах доминирующими видами являлись *Tritia reticulata*, *Diogenes pugilator*, *Glycera tridactyla*; на контрольном участке – *Chamelea gallina*, *Polititapes* sp., *Cerastoderca glaucum*, *Tritia reticulata*. Таким образом, на контрольном участке сохранилось преобладание фильтраторов, в вольерах – плотоядных и детритофагов.

В 1994 г. в составе макрозообентоса б. Казачья отмечалось около 60 видов, при высоких количественных показателях (табл. 5.26). Многочисленными видами были *Ch. gallina*, *Modiolus adriaticus*, *Mytilus galloprovincialis*,

Таблица 5.25 Характеристика макрозообентоса б. Казачья в 1977 – 1986 гг.

Виды	Численность, экз./м ²				Биомасса, г/м ²			
	контроль		вольер		контроль		вольер	
	1977 г.	1986 г.	1977 г.	1986 г.	1977 г.	1986 г.	1977 г.	1986 г.
<i>Staurocephalus kefersteini</i>	-	82	-	4	-	0,02	-	0,002
<i>Platynereis dumerelii</i>	-	4	2	-	-	0,05	1,11	-
<i>Diogenes pugilator</i>	10	87	1	11	1,78	12,50	0,30	2,08
<i>Bittium reticulatum</i>	111	-	64	-	2,25	-	2,90	-
<i>Nana neritea</i>	2	-	15	-	0,31	-	5,55	-
<i>Nana donovani</i>	-	-	4	-	-	-	0,71	-
<i>Gibbula adriatica</i>	4	-	2	-	0,31	-	1,03	-
<i>Cerithium vulgatum</i>	15	-	6	-	33,83	-	15,51	-
<i>Tritia reticulata</i>	2	24	4	14	2,98	33,31	5,6	26,43
<i>Abra alba</i>	-	-	11	7	-	-	2,50	0,05
<i>Cerastoderma glaucum</i>	-	4	2	7	-	0,93	6,46	0,12
<i>Parvicardium exiguum</i>	-	-	4	-	-	-	1,17	-
<i>Chamelea gallina</i>	68	46	5	4	58,87	134,69	1,86	1,68
<i>Gouldia minima</i>	33	4	1	4	3,53	0,64	0,02	0,68
<i>Polittapes sp.</i>	5	30	1	-	13,78	31,09	1,45	-
<i>Pitar rudis</i>	6	-	1	-	1,70	-	1,03	-
<i>Loripes lucinalis</i>	-	-	13	-	-	-	13,82	-
<i>Moerella donacina</i>	15	4	-	-	2,02	0,36	-	-
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	-	-	-	24	-	-	-	391,60
<i>Modiolus adriaticus</i>	1	7	-	16	0,08	1,50	-	0,03
<i>Amphiura stepanovi</i>	-	10	-	-	-	0,33	-	-
Прочие	42	99	59	110	13,06	1,08	8,47	2,66
Сумма	313	398	195	198	134,48	216,50	69,50	425,31
Количество видов	22	21	43	30				

Таблица 5.26 Характеристика макрозообентоса б. Казачья в 1994 – 1997 гг.

Виды	Биомасса, г/м ²		Численность, экз./м ²	
	1994	1997	1994	1997
<i>Melinna palmata</i>	1,22	0,681	50	63
<i>Nephtys hombergii</i>	0,28	0,215	13	10
<i>Staurocephalus kefersteini</i>	0,004	0,061	6	275
<i>Capitella capitata</i>	0,12	0,017	4	80
<i>Exogone gemmifera</i>	-	0,008	-	278
Aphroditidae	0,04	0,045	15	20
Maldanidae	0,11	0,138	4	18
Terebellidae	0,03	0,034	4	20
Chironomidae	-	0,206	-	168
Gammaridae	0,10	0,023	42	85
Caprellidae	-	0,011	-	13
<i>Diogenes pugilator</i>	0,37	2,645	6	50
<i>Synisoma capito</i>	0,02	0,026	17	18
Tanaidae	0,004	0,013	6	55
Cumacea	0,001	0,032	2	47
<i>Lepidochitona cinerea</i>	0,04	0,141	6	10
<i>Nana donovani</i>	1,30	1,148	12	20
<i>Bittium reticulatum</i>	0,32	2,253	11	45
<i>Calyptrea chinensis</i>	0,83	0,117	31	12
<i>Tritia reticulata</i>	2,86	4,182	2	3
<i>Tricolia pulla</i>	-	3,088	-	90
<i>Ceritium vulgatum</i>	-	2,950	-	2
<i>Abra ovata</i>	0,42	17,177	23	203
<i>Loripes lucinalis</i>	1,47	7,055	19	40
<i>Lucinella divaricata</i>	0,63	0,464	44	23
<i>Parvicardium exiguum</i>	3,47	0,195	27	2
<i>Spisula subtruncata</i>	7,41	0,005	19	2
<i>Polititapes sp.</i>	9,18	0,115	6	3
<i>Chamelea gallina</i>	82,25	158,263	86	95
<i>Pitar rudis</i>	39,78	13,062	82	17
<i>Modiolus adriaticus</i>	54,62	11,705	79	30
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	40,48	0,078	52	5
<i>Mytilaster lineatus</i>	1,61	1,982	36	50
<i>Amphiura stepanovi</i>	0,01	0,055	2	17
<i>Amphioxus sp.</i>	0,002	-	2	-
Прочие	4,04	7,825	192	585
Сумма	252,98	236,014	901	2455
Всего видов	59,000	58,000	59,000	58,000

Pitar rudis, *Polititapes sp.*, кроме этого отмечена высокая численность *Abra ovata* и *M. palmata*. Несмотря на то, что по всей бухте встречалось большое

количество видов полихет и ракообразных, численность и биомасса их невелики. На всех исследованных участках бухты преобладали сестонофаги (более 90 % по биомассе). Необходимо отметить также присутствие ланцетников и офиур (*Amphiura stepanovi*), которые в других севастопольских бухтах не найдены.

В 1997 г. видовой состав бентоса мало отличался от видового состава 1994 г.: индекс видового сходства равнялся 0,74. Средние значения биомассы существенно не изменились по сравнению с 1994 г., а численность значительно возросла, в основном за счет полихет. При этом количественные показатели бентоса в вершине бухты ниже, чем в центральной ее части. Доминирующими видами являлись на илах в вершине бухты *Abra ovata*, *Loripes lucinalis*, *Diogenes pugilator*, на ракушниках в центральной части - *Ch. gallina*, *Modiolus adriaticus*, *Pitar rudis*. В вершине бухты доминировали детритофаги (78 % от общей биомассы бентоса), в центральной части бухты доля детритофагов невелика (21 % от общей биомассы), здесь преобладают фильтраторы (73 % от общей биомассы). Индекс видового разнообразия Шеннона для макрозообентоса б. Казачья в 1994 - 1997 гг. составлял в среднем 2,04 - 2,41, достигая на отдельных станциях 3,47.

Балаклавская бухта. Донные сообщества Балаклавской бухты исследовались в 1992 г. на 12 станциях (см. рис. 2.1 Б). В составе макрозообентоса найдено 18 видов. В числе наиболее распространенных - *Nephtys hombergii*, *Nereis diversicolor*, *Bittium reticulatum* (встречаемость 50 %), из которых только нефтис указывался ранее в числе основных видов в этом районе [7]. Нефтис и биттиум встречались в центральной части бухты (ст. 3, 4, 6 - 8, 13), нереис, в основном, в вершинной части (ст. 3, 5, 11 - 13). На трех станциях в середине бухты была отмечена *Polydora ciliata* (ст. 4, 6, 13), и на двух - *Cerastoderma glaucum* (ст. 6, 8) и *Mytilaster lineatus* (ст. 4, 6). Ближе к вершине бухты было найдено несколько экземпляров *Diogenes pugilator* (ст. 5, 13). Остальные виды встречены лишь на одной станции из десяти [62].

Несмотря на обедненность видового состава донных сообществ на каждой из отдельных станций (табл. 5.27), в центральной части бухты (ст. 3, 4, 6 - 8, 13) разнообразие бентоса выше - здесь найдено 14 видов, тогда как в вершине бухты (ст. 5, 11, 12) - только 3. На ст. 11 и 12 макрозообентос представлен только видом *N. diversicolor*. Присутствие в пробе ст. 12 колоний мшанок *Lepralia pallasiana*, скорее всего, являлось следствием опадения оброста с днища судов или свай причалов. У выхода их бухты (ст. 2) найдены только 2 вида - *Nana donovani* и *Spisula subtruncata*. В пробах донных осадков, собранных в штольне, живые представители макрозообентоса не обнаружены.

Таблица 5.27 Характеристика макрозообентоса б. Балаклавской

№ стан-ции	Биомас-са, г/м ²	Числен-ность, экз./м ²	Количе-ство видов	Индекс Шенно-на
2	0,87	25	2	0,52
3	0,41	26	2	0,89
4	0,79	43	5	1,17
5	1,03	31	3	0,91
6	16,70	31	4	0,07
7	0,88	56	6	1,94
8	6,42	75	5	0,55
11	0,37	19	1	-
12	0,15	6	2	0,94
13	5,07	118	6	1,87

низких показателях биомассы, численности и видового разнообразия, а также значительной мозаичности пространственного распределения макрозообентоса, не удалось выделить в бухте устойчивые группировки бентоса.

Прилежащий к Севастопольским бухтам район исследовали на разрезе у поселка Учкуевка до глубины 30 м в 1973, 1976, 1979 и 1982 гг. и до 20 м в 1985-1997 гг. Уже первые полученные материалы указывали, что состав сообществ макрозообентоса на данных глубинах сходен с описанием С.А. Зернова [20]. Песчаные биотопы населял макрозообентос с основными видами, характерными для песчаного грунта: *Gouldia minima*, *Pitar rudis*, *Spisula subtruncata*, *Chamelea gallina* и *Modiolus adriaticus*. Мидии встречались на глубинах 25 - 35 м в качественных пробах, взятых драгой; в дночерпательных пробах они не отмечены [44, 45]. Количественные показатели макрозообентоса в основном были достаточно высоки (табл. 5.28). В 1976 и 1982 гг. наблюдалось снижение биомассы бентоса, а в 1982-1985 гг. - значительное обеднение видового состава.

В 1991-1997 гг. количественные показатели макрозообентоса у открытого побережья были значительно выше, чем в бухтах (табл. 5.29). На всех станциях доминировала *Ch. gallina*, но встречено много других моллюсков-фильтраторов: *Lentidium mediterraneum*, *Lucinella divaricata*, *Pitar rudis*, *Gouldia minima* и др. Здесь отмечены максимальные для всего исследованного района значения численности и биомассы - 5575 экз./м² и 1714,13 г/м². В 1994 г. не были обнаружены полихеты, за исключением 1 экземпляра *Melinna palmata*, не найдены *Diogenes pugilator*, *Gouldia minima*, *Modiolus adriaticus*. При этом встречались *T. reticulata*, *P. exiguum*, *C. glaucum*. Показатели обилия этих видов не очень велики, и основу биомассы по-прежнему составляли *Ch. gallina* и *S. subtruncata*.

При значительной бедности видового состава донных сообществ следует отметить, что практически все виды встречались в пробах единичными (1 - 3) экземплярами. Это определило довольно низкие показатели количественных характеристик бентоса (см. табл. 5.27). На большинстве станций значения биомассы бентоса не превышали 1 - 2 г/м². Подобные величины характерны для наиболее загрязненных сева-стопольских бухт [10]. При столь

Таблица 5.28. Характеристика макрозообентоса у открытого побережья г.Севастополя на глубинах 5-30 м в 1973-1985 гг.

Наименование видов	Биомасса, г/м ²					Численность, экз./м ²				
	1973	1976	1979	1982	1985	1973	1976	1979	1982	1985
<i>Actinothoe clavata</i>	-	0,017	0,723	-	0,19	-	2	13	-	60
<i>Nephtys hombergii</i>	0,13	1,77	0,49	-	-	7	39	16	-	-
<i>Balanus improvisus</i>	3	-	0,32	-	0,3	53	-	4	-	3
<i>Diogenes pugillator</i>	1,67	0,437	0,198	-	3,39	23	6	5	-	35
<i>Calyptrea chinensis</i>	0,237	-	0,043	-	-	3	-	2	-	-
<i>Tritia reticulata</i>	143,833	0,9	7,568	1,667	1,155	263	2	11	3	3
<i>Abra nitida milach.</i>	0,053	0,447	-	-	-	3	9	-	-	-
<i>Moerella tenuis</i>	1,177	-	-	-	-	7	-	-	-	-
<i>Donax trunculus</i>	0,243	-	-	-	-	3	-	-	-	-
<i>Lucinella divaricata</i>	1,417	-	-	0,073	0,004	207	-	-	10	7
<i>Gouldia minima</i>	80,167	2,147	3,455	-	-	857	43	57	-	-
<i>Cerastoderma glaucum</i>	-	0,03	7,095	-	-	-	2	4	-	-
<i>Chamelea gallina</i>	112,717	8,513	75,925	0,047	192,2	257	26	32	3	194
<i>Parvicardium exiguum</i>	4,067	-	-	-	-	30	-	-	-	-
<i>Pitar rudis</i>	143,333	7,637	24,538	-	-	387	28	50	-	-
<i>Polititapes sp.</i>	1,383	0,237	10,715	-	-	3	2	11	-	-
<i>Spisula subtruncata</i>	-	0,613	0,102	0,113	-	-	56	2	10	-
<i>Modiolus adriaticus</i>	-	-	57,323	-	-	-	-	41	-	-
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	1,287	-	-	-	-	7	-	-	-	-
Прочие	1,207	1,103	0,000	0,103	0,002	70	52	-	5	6
Всего	495,920	23,850	188,492	2,003	197,241	2180	266	246	32	306
Число видов	19	15	13	5	8					

Таблица 5.29. Характеристика макрозообентоса у открытого побережья г.Севастополя на глубинах 5-30 м в 1988-1997 гг.

Наименование видов	Биомасса, г/м ²				Численность, экз./м ²			
	1988	1991	1994	1997	1988	1991	1994	1997
<i>Staurocephalus kefersteini</i>	0,023	0,001	-	0,002	900	8	-	20
Spionidae	0,01	-	-	0,045	13	-	-	44
<i>Balanus improvisus</i>	0,993	2,385	0,594	2,43	57	46	16	110
<i>Diogenes pugillator</i>	3,9	1,921	-	1,487	44	25	-	29
<i>Hydrobia acuta</i>	-	0,043	-	0,01	-	17	-	5
<i>Tricolia pulla</i>	0,128	-	-	-	7	-	-	-
<i>Tritia reticulata</i>	-	-	2,713	18,35	-	-	3	14
<i>Abra ovata</i>	-	-	0,006	1,66	-	-	3	10
<i>Fabulina fabula</i>	-	0,537	0,023	0,02	-	4	6	10
<i>Lentidium mediterraneum</i>	0,38	0,996	0,477	0,367	19	75	32	37
<i>Lucinella divaricata</i>	0,42	1,799	0,75	2,895	44	154	41	179
<i>Spisula subtruncata</i>	21,066	10,162	53,766	0,095	619	31	163	15
<i>Cerastoderma glaucum</i>	-	-	2,894	-	-	-	10	-
<i>Parvicardium exiguum</i>	-	-	0,928	-	-	-	25	-
<i>Gouldia minima</i>	0,153	0,691	-	-	7	10	-	-
<i>Chamelea gallina</i>	207,246	723,912	356,128	554,985	932	2546	326	427
<i>Pitar rudis</i>	0,189	0,012	0,025	-	13	2	3	-
<i>Polittapes sp.</i>	0,566	-	-	-	7	-	-	-
<i>Modiolus adriaticus</i>	-	0,875	-	-	-	4	-	-
<i>Mytilaster lineatus</i>	35,812	0,888	0,613	1,302	550	4	7	12
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	16,910	-	1,269	-	44	-	6	-
Прочие	0,768	0,158	0,080	0,830	227	19	9	968
всего	288,561	744,379	420,264	584,477	3480	2947	648	1877
число видов	23	19	16	27	23	19	16	27

Глава 6. Экологическое состояние донных осадков бухт в 2000 году.

Санитарно-биологическая съёмка была проведена летом 2000 г. (с 04.07 по 09.08), в продолжение которой отбирали пробы донных осадков в точках, предусмотренных схемой мониторинга (рис. 6.1). Дополнительно собраны пробы в вершине б. Круглая на традиционных точках отбора проб в районе ливневого стока. Всего проанализировано 50 проб донных осадков.

Отбор их осуществлялся дночерпателем Петерсена с борта мотобота "Вяземский"; в б. Круглой на глубинах 1 - 1,5 м - ручным пробоотборником.

6.1 Физико-химические показатели донных осадков. Методики определения физико-химических параметров указаны в главе 3.

Статистическая обработка проведена по программному пакету STATGRAPHICS (Multivariate methods).

Пробы донных осадков бухт представляли чёрные или темно-серые илы с запахом мазута и сероводорода и в меньшем количестве - крупнозернистые разновидности, пески и ракушники, природные органолептические свойства которых не были утрачены.

Физико-химические показатели, тесно связанные с морфологическими свойствами, имели соответствующие отклонения от нормы: pH среды во многих загрязнённых донных осадках пониженный, особенно это заметно выражено в б. Севастопольская и Артбухте - значения pH в пределах 7,05 - 7,12 (табл. 6.1). В чистых песках и ракушниках pH 7,95 - 8,25.

Редокс-потенциал указывал на восстановительные условия среды: Eh мог понижаться до -189 мВ (см. табл. 6.1). Лишь в песках и ракушниках б. Круглая, Казачья и района Учкеевки условия среды были окислительными, Eh повышался до +281 мВ. Размах колебания окислительно-восстановительного потенциала мог достигать значительных величин. В донных осадках б. Севастопольская средняя величина Eh -124 мВ, б. Артиллерийская Eh -50 мВ, устья б. Севастопольской Eh +47 мВ. Ещё больший контраст наблюдался в б. Круглая: ил вершины обладал Eh -35 мВ, а пески открытой части бухты Eh +266 мВ.

Основная часть донных осадков представляла собой пелитовые, алевро-пелитовые, алевроитовые черные илы и ракушники с примесью ила; незначительную долю занимали пески или ракушники с примесью песка и гравия. Гранулометрический состав донных осадков влияет на содержание в них воды: до 71,51 % в черном жидком иле центральной акватории б. Севастопольская и лишь 21,35 % в песках Учкеевки (см. табл. 3.1). Осредненные величины этого показателя (табл. 6.2) дают возможность сравнить однотипные донные осадки разных бухт при дальнейшем анализе загрязнённости их органическими и углеводородными соединениями.

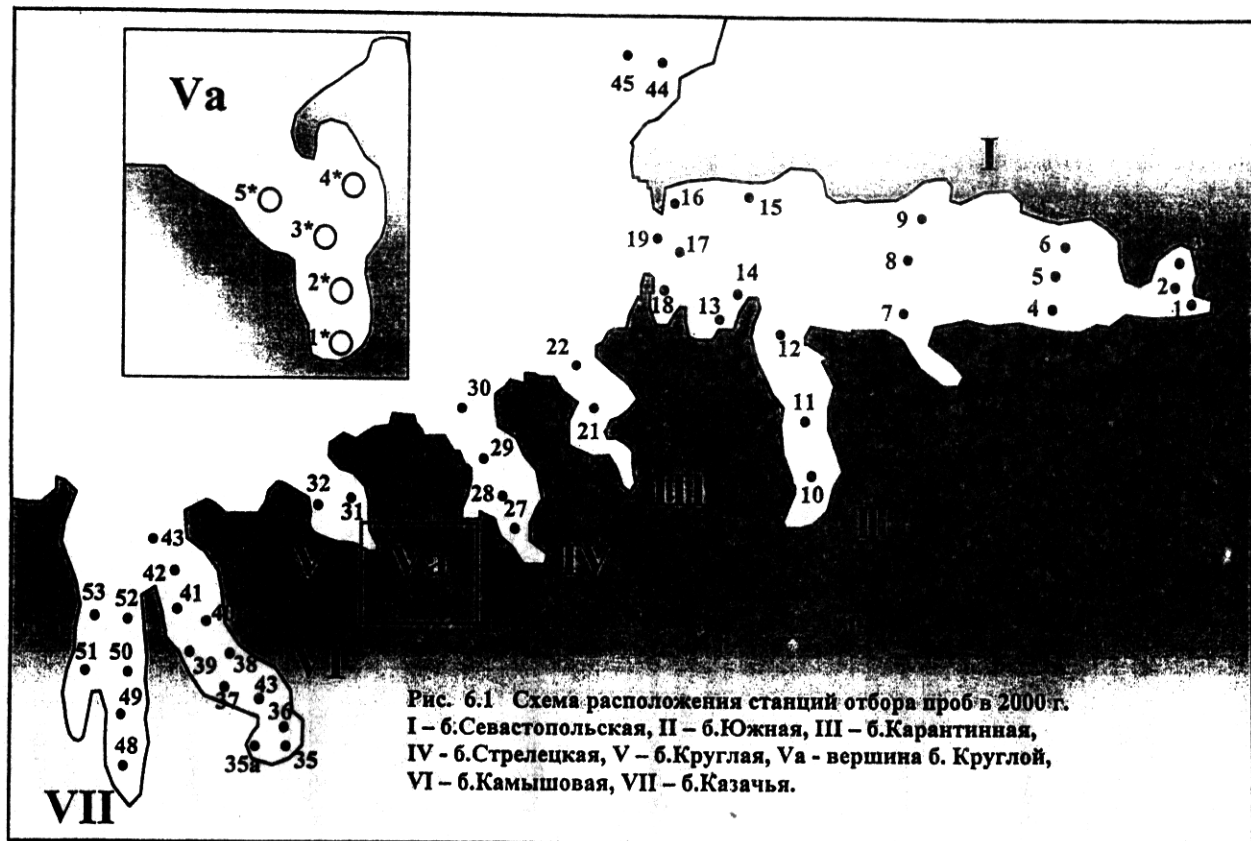


Таблица 6.1 Физико-химические показатели донных осадков

№ станции	Глубина, м	Донный осадок	pH	Eh, мВ	Натуральная влажность, %
1	2	3	4	5	6
Севастопольская бухта					
1	6	Ил темно-серый, пластичный, липкий	7,12	-129	66,35
2	6	Ил серый, слабый запах сероводорода	7,55	-89	67,53
3	10	Ил темно-серый, слабый запах сероводорода	7,42	-64	62,45
4	7	Ил темно-серый, запах сероводорода	7,60	-167	61,65
5	10	Ил черный, запах сероводорода, мазута	7,68	-84	60,33
6	10	Ил темно-серый, слабый запах мазута	7,60	-109	54,83
7	14	Ракушняк илистый, резкий запах мазута	7,90	-114	72,69
8	15	Ил черный, резкий запах мазута и сероводорода	7,83	-189	64,28
9	14	Ил черный, жидкий, запах сероводорода, мазута	7,21	-174	78,51
Южная бухта					
10	8	Ил черный, резкий запах сероводорода, мазута	7,22	-75	61,89
11	16	Ил черный, жидкий, резкий запах мазута	7,82	-139	
12	16	Ил черный, липкий, запах сероводорода, мазута	8,04	-129	53,87
Артиллерийская бухта					
13	4	Ил черный, полужидкий, резкий запах мазута	7,05	-69	59,41
14	7	Песок серый, плотный, примесь ракуши	8,17	+31	26,56
Устье Севастопольской бухты					
15	15	Ил черный, примесь песка, запах мазута	7,55	-19	42,00
16	16	Ил черный, запах мазута, сероводорода	7,55	+21	48,11
17	10	Песок серый, обилие ракуши, нитчатых водорослей	8,09	+251	32,55
18	14	Ил темно-серый, слоистый, слабый запах мазута	7,16	+1	56,05
19	18	Ил серый, слоистый, слабый запах сероводорода	7,30	+21	49,90
23	18	Песок илистый, серый, плотный	7,42	+6	35,02
Карантинная бухта					
20	7	Песок с примесью ила, плотный, обилие водорослей	7,55	+6	35,75
21	10	Песок серый, плотный, измельченная ракуша	8,10	+61	28,15

1	2	3	4	5	6
Стрелецкая бухта					
27	6	Ил черный, запах сероводорода, мазута	7,75	-59	68,07
28	17	Ил темно-серый, запах сероводорода	7,82	-129	60,05
29	20	Ил темно-серый, запах мазута, сероводорода	7,40	-139	66,57
30	20	Ил серый, примесь песка, камней	7,44	-59	56,32
Круглая бухта (Омега)					
21	4	Песок с галькой и ракушей	8,13	+281	30,92
32	5	Песок мелкий, бурый	7,95	+251	32,77
Вершина Круглой бухты					
1*	1	Ил черный, запах сероводорода, примесь травы, створок ракуши	7,50	+46	51,80
2*	1	Ил серый, плотный, запах сероводорода	7,78	-141	44,90
3*	1,5	Ил серый, обилие обрывков водорослей	7,85	-99	59,50
4*	1,5	Песок илистый, буровато-серый, запах сероводорода	7,90	-59	31,70
5*	1,5	Песок серый, мелкий, плотный	8,10	+81	28,92
Камышовая бухта					
35	7	Песок с примесью ила, камней	7,96	-61	37,86
35a	8	Ил темно-серый, запах сероводорода, мазута	7,78	-99	55,53
36	7	Ил черный, запах сероводорода	7,42	-159	57,81
37	10	Ил черный, резкий запах, примесь камней	7,78	-159	66,12
38	8	Ил темно-серый, примесь ракуши, запах мазута	7,85	-129	58,34
39	10	Ракушняк, запах сероводорода	-	-	-
40	11	Песок серый, примесь камней	7,70	+6	29,28
41	16	Ил светло-серый с бурыми прослойками	7,35	-39	39,85
42	15	Песок серый, примесь ракуши	7,70	+101	33,52
Район Учкеевки					
44	5	Песок мелкий, бурый	8,25	+281	21,35
45	14	Песок буровато-серый, плотный	8,00	+71	25,23
Казачья бухта					
48	5	Песок илистый, темно-серый, запах сероводорода	7,32	-149	37,44
49	6	Ил темно-серый, примесь морской травы, запах сероводорода	7,52	-119	72,73
50	15	Ракушняк, примесь песка	7,70	-79	32,07
51	10	Ил темно-серый, пластичный	7,50	-94	60,54
52	17	Ракушняк мелкий, живые моллюски	7,80	-	-
53	12	Песок серый, ракушняк	7,90	+101	35,01

Таблица 6.2 Физико-химические показатели донных осадков (средние по акваториям)

Бухта, число станций	Донный осадок; глубина, м	pH	Eh, мВ	Натуральная влажность, %
Севастопольская, 9	Ил, 6 – 20	7,54	-124	65,40
Южная, 3	Ил, 8 – 16	7,69	-114	63,40
Артиллерийская, 2	Ил, 4 – 7	7,61	-50	42,98
Устье б. Севастопольская, 4	Ил, 10 – 18	7,51	+47	43,94
Карантинная, 2	Пески, 7 – 10	7,82	+33	31,95
Круглая, 2	Пески, 4 – 5	8,04	+26	31,84
Вершина б. Круглой, 4	Ил, примесь песка, 0,5–1,5	7,82	-35	43,30
Стрелецкая, 4	Ил, ракушняк, 6 – 20	7,60	-96	62,75
Камышовая, 8	Ил, ракушняк, 7 – 16	7,69	-84	47,29
Казачья, 6	Ил, ракушняк, 5 – 17	7,62	-68	47,56
Учкуевка, 2	Пески, 5 – 14	8,12	+17	23,29
			6	

Биогенные органические вещества: липидные, углеводо- и белковоподобные - представлены в разных концентрациях. Количество преобладающих углеводоподобных соединений (УПС) изменялось от 49,1 до 2822,2 мг/100 г сух. осадка (табл. 6.3). В черных илах УПС в двадцать раз, в серых илах в пять-семь, в песках - в восемь-двенадцать, в ракушниках - в три-одиннадцать раз больше, чем других лабильных соединений. Количественный разрыв между этими компонентами отмечается уже во взвеси, что связано с трансформацией органического вещества и накоплением полисахаридов из-за "старения" взвеси. Поскольку глубины в бухтах невелики, то поступление в донный осадок УПС происходит интенсивнее как из водной взвеси, так и от макрофитов; последнее становится очевидным в б. Казачья. Известно [85], что углеводы макрофитов трудно разрушаются; кроме того, УПС ресинтезируются.

Содержание белковоподобных соединений (БПС) изменялось в пределах 10,8 - 462,4 мг/100 г сух. осадка (см. табл. 6.3). В песках и ракушниках количество БПС исчисляется десятками мг/100 г сух. осадка, в илах - сотнями мг/100 г сух. осадка. Такое распределение БПС связано, по-видимому, с накоплением аллохтонного материала, заметно выраженным в донных осадках вершин б. Круглая, Казачья и центральной части б. Севастопольская.

Разновеликое содержание липидов 5,5 - 1190,3 мг/100 г сух. осадка отличало пески и ракушники от илов (см. табл. 6.3). Концентрация липидов отмечена в донных осадках вершин бухт Южная, Артиллерийская, Круглая, Казачья, а также на ст. 7 - 9, 11, 38, 39, что связано с усиленным притоком аллохтонных веществ.

Таблица 6.3 Лабильные органические компоненты (мг/100 г сухого осадка)

№ станций	Углеводоподобные соединения	Белковоподобные соединения	Липидные соединения
1	2	3	4
Севастопольская бухта			
1	886,5	336,0	234,5
2	768,4	312,9	239,0
3	583,8	254,5	165,5
4	541,6	280,0	218,4
5	686,9	290,1	174,6
6	540,1	266,0	174,4
7	1427,1	462,4	707,1
8	559,1	327,2	475,2
9	1242,5	405,3	758,5
Южная бухта			
10	793,9	280,0	823,2
11	730,3	288,9	651,4
12	672,6	291,3	259,3
Артиллерийская бухта			
13	1212,3	397,9	1190,3
14	113,6	56,8	53,5
Карантинная бухта			
20	146,6	39,5	18,4
21	267,5	103,5	79,3
Устье Севастопольской бухты			
15	296,3	152,3	302,8
16	513,1	151,5	329,9
17	79,9	38,8	24,2
18	444,5	172,4	148,4
19	537,1	128,0	133,4
23	126,2	68,9	20,8
Стрелецкая бухта			
27	1055,7	311,1	431,7
28	986,5	88,3	303,7
29	1217,1	239,6	281,9
30	958,5	233,3	93,6
Круглая бухта (Омега)			
31	93,4	18,9	18,9
32	136,4	11,5	12,0
Вершина б. Круглая			
1*	945,7	257,1	414,2
2*	531,7	193,6	174,9
3*	772,1	241,9	227,6
4*	264,4	76,6	77,5

1	2	3	4
5*	123,8	48,5	32,3
		Камышовая бухта	
35	516,4	365,5	112,0
35a	662,7	318,5	348,3
36	852,0	369,9	403,7
37	745,5	253,2	471,5
38	763,2	277,2	519,0
39	984,2	196,2	524,7
40	242,2	62,4	48,4
41	741,6	192,9	217,0
42	280,9	43,1	55,9
		Район Учкюевки	
44	87,1	10,8	21,4
45	146,6	23,8	5,5
		Казачья бухта	
48	2822,2	423,8	347,9
49	2575,4	431,3	245,3
50	49,1	23,2	38,8
51	172,5	92,0	92,0
52	598,7	122,1	51,5
53	213,0	46,9	36,2

Таблица 6.4 Распределение лабильных органических компонентов по бухтам

Район	УПС		БПС		Л	
	мг / 100 г	% от S*	мг / 100 г	% от S*	мг / 100 г	% от S*
б. Севастопольская	804,0	55,7	292,0	20,2	349,7	24,1
б. Южная	732,3	45,9	286,7	17,9	577,9	36,2
б. Артиллерийская	663,0	43,8	227,3	15,0	622,0	41,2
Устье б. Севастопольской	332,8	54,5	118,6	19,4	159,7	26,1
б. Карантинная	207,0	63,3	71,5	21,8	48,8	14,9
б. Стрелецкая	1054,4	68,0	218,1	14,1	277,7	17,9
б. Круглая	114,9	79,0	15,2	10,4	15,4	10,6
Вершина б. Круглой	527,5	60,2	163,2	18,6	185,3	21,2
б. Камышовая	643,2	54,9	230,9	19,7	297,8	25,4
Учкюевка	116,8	79,3	17,3	11,7	13,2	9,0
б. Казачья	1478,6	82,0	189,9	10,5	135,3	7,5

S* - сумма лабильных компонентов

При сравнении средних величин перечисленных компонентов выяснилось, что количество УПС понижалось в донных осадках ряда: б. Казачья, Стрелецкая, вершина б. Круглая, б. Севастопольская, Южная, Камышовая, Карантинная (табл. 6.4). Сравнивались, в основном, илистые донные осадки. В песках и ракушнях количество УПС несравнимо мало, однако и здесь УПС оставались преобладающим компонентом среди других лабильных соединений.

Количество БПС уменьшалось в донных осадках ряда: б. Южная, вершина б. Круглой, б. Севастопольская, Камышовая, Стрелецкая, Казачья, Карантинная. Доля их среди лабильных компонентов уменьшалась также — от б. Южная до б. Казачья. Пески содержали отлнчнмо мало БПС и в осадке, и относительно суммы лабильных компонентов.

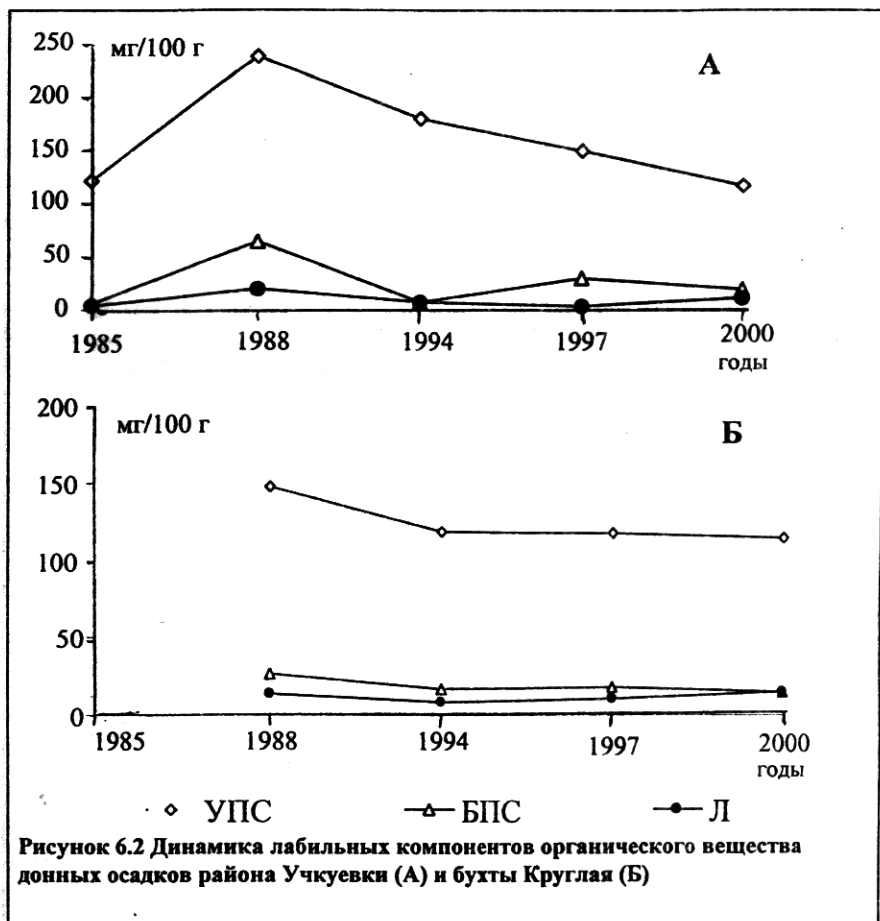
Липиды концентрировались в донных осадках бухт: Южная, Севастопольская, Артиллерийская, Стрелецкая. Доля их среди лабильных компонентов уменьшалась примерно в той же последовательности. В песках величины этого показателя на порядок меньше (см. табл. 6.4). Таким образом, большинство донных осадков обладало лабильным органическим веществом амило-липо-протеинового состава. В бухтах Круглая, Казачья, акватории Учкеевки донные осадки имели амило-протеино-липидный комплекс, который накапливался в меньшей степени, чем разрушался. Пески и ракушники в отличие от илов сохранили, в результате, свой природный баланс органических лабильных соединений, что согласуется с характеристикой различных типов донных осадков и накоплением органического вещества в них.

Прослеженные соотношения и зависимости среди лабильных органических соединений отмечены в многолетней динамике каждого из компонентов.

В песках б. Круглая и района Учкеевки УПС, БПС, Л всегда тесно связаны между собой (рис. 6.2).

В донных осадках (здесь встречались илы и пески) бухт Камышовая, Карантинная, акватории устья б. Севастопольская заметны количественные колебания УПС, БПС, Л по годам; накопление УПС значительное (рис. 6.3). Очевидно, что наряду с преобразовательными процессами здесь протекают процессы накопительные.

В илах бухт Южная, Севастопольская, Артиллерийская, Стрелецкая меньше всего изменялось по годам количество БПС (рис. 6.4); в б. Южная оно монотонно одинаковое. Учитывая то, что макрозообентос в бухте практически отсутствовал, а мейобентос был представлен нематодами и всегда определялся бактериобентос, можно заключить, что БПС, в основном, биогенного происхождения, а источниками УПС и Л, кроме биоты, являются аллохтонный битумоид Ахл и НУ.



Таким образом, отклонения от природных соотношений между лабильными компонентами являются признаком загрязнения органического характера.

Хлороформный битумоид - органическое вещество, связанное с тонкими илистыми частицами, а также привносимое с загрязнением, накопился в бухтах повсеместно (табл. 6.5). Большинство илов содержали значительное количество хлороформного битумоида (до 3,56 г/100 г сух. осадка), что на два-три порядка превышало количество его в натуральных морских осадках. Особенно выделялись илы б. Южная, Севастопольская и Стрелецкая (0,24 - 3,56 г/100 г сух. осадка).

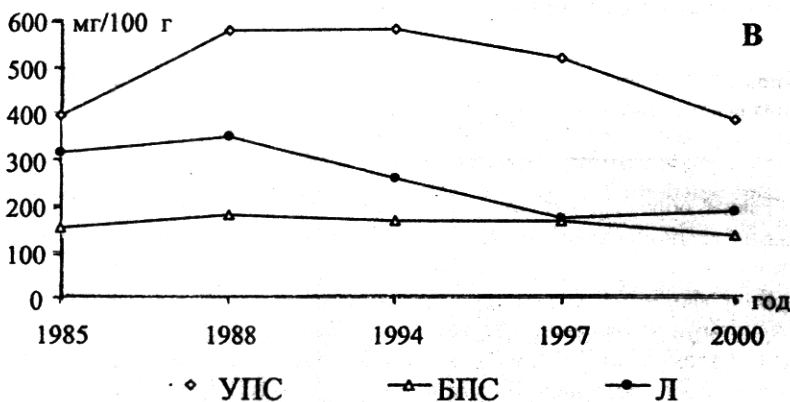
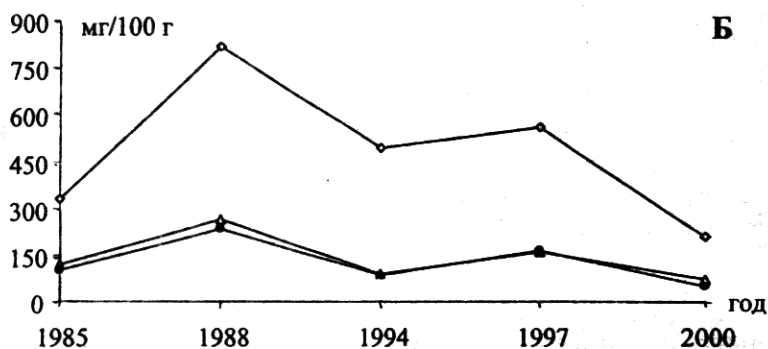
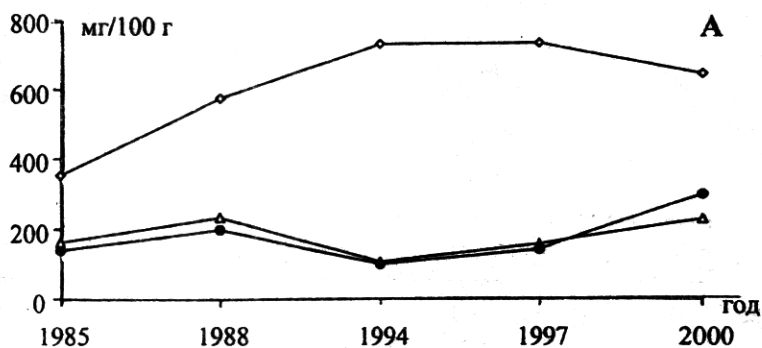


Рисунок 6.3 Динамика лабильных компонентов органического вещества донных осадков бухт Камышевой (А), Карантинной (Б), устья б. Севастопольской (В)

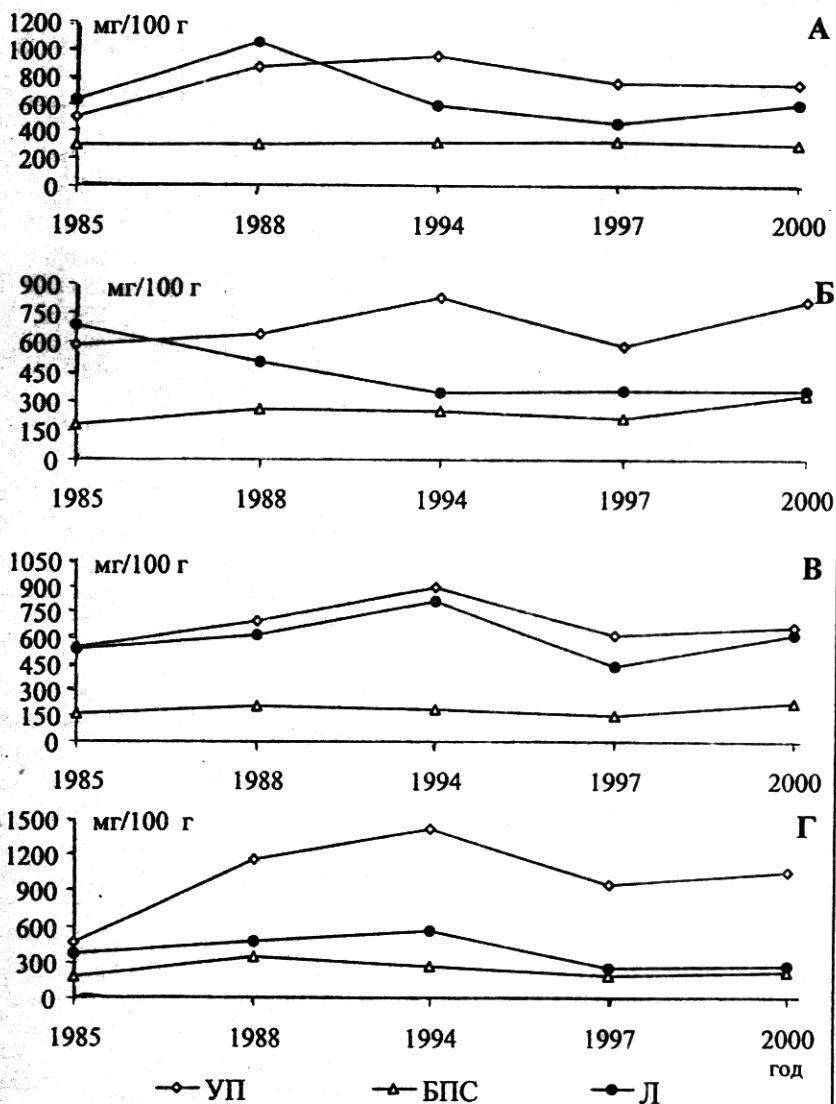


Рисунок 6.4 Динамика лабильных компонентов органического вещества донных осадков Южной бухты (А), Севастопольской бухты (Б), Артиллерийской бухты (В), Стрелецкой бухты (Г).

Таблица 6.5 Показатели загрязнения донных осадков

№ станции	Хлороформный битумоид (Ахл), г/100 г	Нефтяные углеводороды (НУ), мг/100 г	НУ от Ахл, %
1	2	3	4
б. Севастопольская			
1	0,32	34,0	10,6
2	0,38	114,0	30,0
3	0,44	116,0	26,4
4	0,76	250,8	33,0
5	0,58	139,2	24,0
6	0,64	185,6	29,0
7	2,22	710,4	32,0
8	2,00	800,0	40,0
9	3,56	1708,8	48,0
б. Южная			
10	1,72	550,0	31,9
11	2,86	795,0	27,9
12	1,74	557,0	32,0
б. Артиллерийская			
13	1,88	376,0	20,0
14	0,08	14,0	17,5
Устье б. Севастопольская			
15	0,58	82,0	14,0
16	0,66	165,0	25,0
17	0,05	следы	-
18	0,32	54,0	16,8
19	0,24	40,0	16,7
23	0,03	следы	-
б. Карантинная			
20	0,12	34,0	28,3
21	0,02	следы	-
б. Стрелецкая			
27	1,96	921,0	46,9
28	1,28	602,0	47,0
29	0,52	192,0	36,9
30	0,24	104,0	43,3
б. Круглая			
31	0,01	следы	-
32	0,01	следы	-
Вершина б. Круглая			
1*	0,52	146,8	28,1
2*	0,15	38,0	25,3
3*	0,20	42,0	21,0
4*	0,06	следы	-

1	2	3	4
5*	0,01	следы	-
		б. Камышовая	
35	0,16	28,0	17,5
35a	0,48	32,0	19,2
36	0,64	88,0	13,7
37	0,78	86,0	11,0
38	0,78	164,0	21,0
39	0,24	46,0	19,2
40	0,05	7,0	14,0
41	0,11	37,0	33,6
42	0,06	52,0	8,7
		район Учкеевки	
44	0,002	следы	-
45	0,007	следы	-
		б. Казачья	
48	0,22	44,0	20,0
49	0,19	33,5	17,6
50	0,03	следы	-
51	0,10	следы	-
52	0,04	следы	-
53	0,02	следы	-

В илах б. Карантинная и Камышовая концентрация битумоида снижалась (0,02 - 1,10 г/100 г сух. осадка); невелико было содержание его в песках и ракушнях Учкеевки и б. Казачья (0,002 - 0,22 г/100 г сух. осадка). В илах вершины б. Круглая отмечена концентрация битумоида (0,52 против 0,01 - 0,02 г/100 г сух. осадка в песках).

Большинство исследованных донных осадков следует отнести к группам III - V степени загрязнения нефтепродуктами [63].

Загрязненность подчеркивалась имеющимися в донных осадках нефтяными углеводородами: величина их достигала 1708 мг/100 г сух. осадка (табл. 6.5, 6.6, 6.7). Распределялись углеводороды по бухтам в том же порядке, что и хлороформный битумоид. Их доля в битумоиде илов была равна 24 - 48 % и 7 - 24 % - в битумоиде песков и ракушников. Нефтяные углеводороды, определяемые на инфракрасном спектрометре, охватывают ту часть спектра, которая включает предельные углеводороды с длинной цепью. Таким образом, битумоид представлял собой непреобразованное органическое вещество углеводородного типа.

Таблица 6.6 Показатели загрязнения (средние по акваториям)

Бухта, число станций	Хлороформный битумоид		Углеводороды, мг/100 г	
	г/100 г	% от Сорг	сумма	нефтяные
Севастопольская, 9	1,21	32,5	927,4	451,0
Южная, 3	2,10	36,0	1449,0	634,0
Артиллерийская, 2	0,98	31,0	381,0	195,0
Устье б. Севастопольская, 6	0,31	14,0	132,9	56,0
Карантинная, 2	0,07	5,0	33,6	17,0
Круглая, 2	0,01	6,0	4,5	следы
Вершина б. Круглая, 4	0,21	30,0	132,5	47,0
Стрелецкая, 4	1,00	38,1	727,4	455,0
Камышовая, 9	0,40	16,2	224,4	69,0
Казачья, 4	0,04	10,9	10,4	следы
Вершина б. Казачья, 2	0,20	-	138,0	38,0
Учкуевка, 2	0,004	0,2	11,5	следы

Таблица 6.7 Нефтяные углеводороды в донных осадках разного уровня загрязнения

Уровни (содержание битумоида Ахл, г /100 г)	Количество проб	Содержание нефтяных углеводородов, мг / 100 г		
		lim	среднее	% от Ахл
I (< 0,05)	9	следы	-	-
II (0,05 – 0,09)	14	0 - 14	3	до 13,3
III (0,10 – 0,49)	13	28 - 116	66	25,4
IV (0,50 – 0,99)	8	86 - 251	153	24,0
V (> 1,0)	10	231 - 1708	807	39,7

Средние величины загрязняющих веществ, подсчитанные по акваториям и годам (табл. 6.8, 6.9), дают основание расположить бухты по степени загрязнения: Южная, Севастопольская, Стрелецкая, Артиллерийская, вершина б. Круглой, бухты Камышовая, Карантинная, Казачья. Пески б. Круглая, района Учкуевки, устья б. Севастопольская и ракушняки б. Казачья практически не загрязнены.

Еще одна деталь характеризует загрязненные донные осадки. Количество метано-нафтенных и ароматических углеводородов велико в подверженных нефтяному загрязнению донных осадках (табл. 6.10).

В донных осадках разной степени загрязнения перестраивается липидно-углеводородный комплекс (ЛУВК). По мере увеличения последнего

Таблица 6.8 Хлороформный битумонд, г/100 г (среднее по акваториям)

Бухты	Годы									
	1973	1976	1979	1982	1985	1988	1991	1994	1997	2000
Севастопольская	0,76	0,99	0,82	1,5	2,7	1,34	1,3	1,37	1,25	1,21
Устье ухты	1,06	0,99	1,04	0,76	0,98	0,73	-*	0,53	0,53	0,31
Артиллерийская	0,95	0,85	1,17	-	1,76	1,25	1,06	0,99	0,91	0,98
Южная	2,34	2,19	3,32	3,68	3,31	3,04	3,59	2,73	2,18	2,1
Карантинная	0,41	0,15	0,21	0,42	0,47	0,41	0,3	0,23	0,2	0,07
Круглая	0,02	-	-	0,03	0,02	0,002	0,04	0,01	0,01	0,01
Стрелецкая	1,66	1,76	2,1	2,13	1,37	1,12	0,87	1,41	1,33	1
Камышовая	0,41	0,26	0,46	0,42	0,3	0,39	0,18	0,21	0,29	0,4
Казачья	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,06	0,1
Учкуевка	-	0,01	0,03	0,01	0,03	0,06	0,01	0,02	0,003	0,004

* - отсутствие данных (отбор проб не производился)

Таблица 6.9 Нефтяные углеводороды, мг/100 г (среднее по акваториям)

Бухты	Годы									
	1973	1976	1979	1982	1985	1988	1991	1994	1997	2000
Севастопольская	304	396	328	600	999	536	730	480	507	451
Устье ухты	318	297	312	228	294	243	160	200	153	60
Артиллерийская	380	340	468	-	704	500	590	350	497	195
Южная	936	876	1328	1472	1324	1216	1110	1307	912	634
Карантинная	123	45	63	126	21	123	100	20	58	20
Круглая	6	-	-	9	6	сл.	10	20	сл.	сл.
Стрелецкая	664	704	840	852	548	448	430	560	567	455
Камышовая	80	50	92	84	60	78	40	20	66	69
Казачья	-	-	-	-	-	-	-	-	11	14
Учкуевка	-	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	10	10	сл.	сл.

Примечание: с 1973 по 1988 гг. данные получены расчетным путем.

и накопления суммы углеводородов (табл. 6.11) в донном осадке в составе ЛУВК количество углеводородов поднимается с одной трети, что свойственно природному комплексу, до двух третей. При этом уменьшается процент жирных кислот, триглицеридов, стерина и полярных липидов, что снижает пищевую ценность липидов, а обилие углеводородов делает их непригодными для употребления макрозообентосом.

Все геохимические данные, полученные за длительный период наблюдений, свидетельствуют о том, что крупнозернистые донные осадки (пески,

Таблица 6.10 Углеводороды (мг/100 г) в донных осадках севастопольских бухт

№ ст.	Сум-ма	Метано-нафтеновые	Ароматические	№ ст.	Сум-ма	Метано-нафтеновые	Ароматические
б. Севастопольская				б. Круглая			
1	77,2	45,3	41,8	31	1,1	0,6	0,4
2	250,0	100,0	150,0	32	8,0	4,6	3,4
3	269,5	60,0	209,5	Вершина б. Круглая			
4	419,6	259,2	160,4	1*	365,8	336,4	29,4
5	368,1	89,1	279,0	2*	65,1	39,4	25,7
6	451,0	180,0	271,0	3*	112,4	88,1	24,3
7	1927,1	716,7	1210,4	4*	32,5	25,0	7,5
8	1646,4	374,4	1272,3	5*	17,7	11,7	6,0
9	2938,3	1700,0	1238,3	б. Камышовая			
б. Южная				35	58,0	16,2	29,4
10	1019,1	422,4	576,7	35а	211,7	82,1	129,6
11	2089,3	1006,8	1082,5	36	316,3	135,6	180,7
12	1240,6	500,0	740,6	37	348,5	254,2	94,3
б. Артиллерийская				38	401,0	226,9	174,1
13	719,0	494,3	224,7	39	574,1	398,3	175,8
14	42,6	17,7	24,9	40	31,6	19,5	12,1
Устье б. Севастопольская				41	63,0	51,0	12,0
15	185,0	83,5	101,5	42	14,1	10,2	3,9
16	287,8	74,9	212,9	район Учкеевки			
17	21,3	8,3	13,0	44	18,6	10,1	8,5
18	198,7	83,9	114,8	45	4,5	1,8	2,7
19	86,0	42,7	43,3	б. Казачья			
23	18,8	12,2	6,6	48	142,1	126,4	15,7
б. Карантинная				49	134,7	71,4	63,6
20	50,7	34,0	16,7	50	11,2	9,8	1,4
21	16,6	7,5	9,0	51	88,0	74,0	14,0
б. Стрелецкая				52	8,5	7,8	0,7
27	1528,3	900,3	628,0	53	13,8	10,4	3,4
28	853,8	403,3	450,5				
29	337,3	119,2	218,1				
30	190,4	93,6	96,8				

ракушняки, галечники) бухт и открытого побережья обладают определенной устойчивостью к потоку нефтепродуктов. В них по сравнению с тонкозернистыми илами активнее процессы преобразования аллохтонных веществ. Однако постоянная загрязняемость илов при их поглощающей способности дает основание считать илы экологически емкими донными осадками.

Таблица 6.11 Характеристики липидно-углеводородного комплекса донных осадков разной степени загрязнения

Фракции	Донные осадки, содержание Ахл (г/100 г)				
	ил черный, 1,74 – 3,56	ил темно- серый, 0,64 – 0,78	ил серый, 0,11 – 0,38	ракуш- няки, 0,03 – 0,24	песок, 0,01 – 0,05
ЛУВК, мг /100 г	2467	740	390	55 -1100	35
Сумма (мг /100 г):					
полярных соединений	564	340	233	45 - 526	24
углеводородов	1903	400	157	10 -574	11
Фракционный состав, %					
полярные липиды	11,0	17,6	17,3	17,0	17,9
стерины	1,0	2,5	6,4	9,0	6,2
спирты	0,6	0,8	0,4	1,1	3,3
жирные кислоты	1,2	5,6	6,2	8,1	14,9
триглицериды	2,8	6,7	6,2	12,2	11,2
эфиры жирных кислот	0,7	0,9	2,2	7,9	1,1
воска + эфиры стеринов	1,2	2,5	2,2	2,8	5,6
смолы	4,6	-	21,1	10,2	13,3
углеводороды	76,3	55,4	38,7	35,3	24,0

6.2 Микробентос. Параллельно с определением физико-химических параметров в донных осадках определяли численность аэробных бактерий [80, 36].

Общее количество гетеротрофных микроорганизмов находилось в пределах 2500 - 450000 кл/г сырого грунта; нефтеокисляющих микроорганизмов - от 25 до 9500 кл/г сырого грунта (табл. 6.12). Обильным бактериобентосом характеризовались осадки вершины б. Круглая и грубозернистые разновидности из бухт Казачья, Камышовая, Карантинная, Севастопольская, района Учкueвки. Нефтеокисляющих бактерий было на 1 - 2 порядка больше (2500 – 9500 кл/г) в ракушнях и песках б. Камышовая и акватории п. Учкueвки, чем в других донных осадках (25 – 950 кл/г).

Корреляционный анализ данных, полученных в результате санитарно-экологической съемки, показан в табл. 6.13. Численность гетеротрофных бактерий с количеством хлороформного битумоида (Ахл), нефтяных (НУ), метано-нафтенных (МНУ) и ароматических (АРУ) углеводородов, липидов (Л), белково- (БПС) и углеводоподобных (УПС) соединений находилась (это прослежено по всем бухтам) в обратной связи. Восстановительные условия среды, характеризующие многие донные осадки, не способствуют развитию аэробных бактерий, тем не менее, обратная связь была прослежена между численностью последних и долей НУ в хлороформном битумоиде,

Таблица 6. 12 Микробиологическая характеристика донных осадков бухт (кл/г)

№ ст.	Глубина, м	Гетеротрофные микроорганизмы	Нефтеокисляющие микроорганизмы	№ ст.	Глубина, м	Гетеротрофные микроорганизмы	Нефтеокисляющие микроорганизмы
б. Севастопольская				б. Круглая			
1	6	25000	250	31	4	4500	250
2	6	45000	95	32	5	4500	95
3	10	2500	250	Вершина б. Круглая			
4	7	15000	25	1*	1	150000	450
5	10	9500	150	2*	1,5	25000	250
6	20	4500	25	3*	1,5	950000	450
7	9	450000	950	4*	1	250000	1150
8	20	4500	45	5*	1,5	250000	950
9	14	9500	950	б. Камышовая			
б. Южная				35	7	250000	4500
10	8	95000	950	35a	8	7500	25
11	16	20000	45	36	7	15000	250
12	16	95000	95	37	10	4500	95
б. Артиллерийская				38	8	4500	95
13	4	9500	750	39	10	45000	9500
14	7	15000	450	40	11	95000	2500
Устье б. Севастопольская				41	16	25000	250
15	15	25000	25	42	15	4500	45
16	16	7500	25	район Учкеевки			
17	18	25000	450	44	5	4500	950
18	14	20000	250	45	14	95000	4500
19	18	9500	95	б. Казачья			
23		4500	250	48	5	25000	95
б. Карантинная				49	6	15000	450
20	7	250000	450	50	15	25000	250
21	10	4500	250	51	10	25000	45
б. Стрелецкая				52	17	25000	450
27	6	4500	250	53	12	45000	150
28	17	9500	45				
29	20	9500	250				
30	20	25000	4500				

Таблица 6.13 Корреляционные коэффициенты (r) численности бактерий (гетеротрофных - ГТР, нефтеокисляющих - НО) с геохимическими показателями ($p < 0,1$)

Местонахождение донных осадков (число станций)	Бактерии	Ахл.	НУ	МНУ	АРУ	Л	БПС	УПС
б. Севастопольская (9)	ГТР	-0,39	-0,28	-0,26	-0,33	-0,18	0,09	0,12
	НО	0,69	0,67	0,81	0,43	0,81	0,84	0,94
устье бухты (6)	ГТР	0,07	-0,18	-0,29	-0,21	-0,30	0,21	-0,30
	НО	-0,82	-0,73	-0,66	-0,60	-0,85	-0,73	-0,70
б. Южная (3)	ГТР	-0,99	-0,99	-0,96	-0,99	-0,22	-0,34	0,03
	НО	-0,56	-0,57	-0,75	-0,63	0,70	-0,97	0,86
б. Стрелецкая (4)	ГТР	-0,80	-0,77	-0,68	-0,79	-0,97	-0,09	-0,48
	НО	-0,65	-0,62	-0,46	-0,46	-0,87	0,15	-0,52
б. Камышовая (9)	ГТР	-0,43	-0,42	-0,39	-0,38	-0,47	-0,27	-0,35
	НО	-0,36	-0,32	-0,38	-0,46	-0,14	-0,10	0,27
б. Казачья (6)	ГТР	-0,59	-0,55	-0,51	-0,69	-0,54	-0,57	-0,51
	НО	0,06	-0,14	-0,20	0,74	0,14	0,20	0,18
Пески (10)	ГТР	0,84	0,86	-0,15	0,10	0,83	0,72	0,88
	НО	-0,24	-0,23	-0,16	0,11	-0,30	-0,21	0,05
Ракушняки (3)	ГТР	0,99	0,99	0,86	-0,99	0,74	0,99	0,90
	НО	-0,38	-0,41	-0,11	-0,33	0,29	-0,26	-

что подтверждает преобразование нефтепродуктов. Обильный микробентос уменьшает загрязненность нефтепродуктами.

Прослеженные связи не всегда были жесткими из-за многообразия разновидностей донных осадков, особенно характерного для б. Севастопольской. Корреляционный анализ тех же параметров в песках и ракушнях показал положительные связи (см. табл. 6.13). Благоприятный газовый режим, характерный для крупнозернистых донных осадков (ст. 17, 20, 21, 23, 31, 32, 40, 42, 44, 45, 39, 52), по-видимому, способствует развитию бактериобентоса, трансформирующего органические соединения, в том числе нефтепродукты, до простых продуктов разложения. Как правило, загрязнение в таких донных осадках отсутствует. Исключением является илистый ракушняк ст. 7, сочетающий, как ни один донный осадок, обильный бактериобентос со значительным загрязнением нефтяными углеводородами.

Нефтеокисляющие бактерии в донных осадках бухт (кроме б. Севастопольская) находятся также в противофазе с геохимическими показателями (см. табл. 6.13). Обратная зависимость прослежена не только в илистых

донных осадках, но и в песках. Следует заметить, что численность этой группы бактерий во всех донных осадках ниже численности гетеротрофов на один - три порядка.

С количеством лабильных органических соединений в ряде случаев численность нефтеокисляющих бактерий находилась в прямой связи, подобно гетеротрофным бактериям в крупнозернистых донных осадках. Заметное накопление УПС, отмечаемое при загрязнении донных осадков, является результатом бактериального окисления нефтяных углеводородов [29].

Корреляционный анализ показал, что в илах (приводятся данные по ст. 6, 9, 12, 35, 41) не только сумма углеводородов и количество липидов, но и величина каждой из составляющих липиды фракций находилась с численностью гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий в противофазе (табл. 6.14).

В то время как геохимические показатели имели прямую связь с числом мейобентосных организмов, между последними и численностью бактерий обнаружена обратная связь. Мейобентос в этих илах представлен на 50 - 100 % нематодами, другие группы были малочисленными. Самым разнообразным (7 - 8 групп против 1 - 3 групп) и многочисленным (14 - 43 тыс. экз./м² против 3 - 5 тыс. экз./м²) по сравнению с илами других бухт оставался мейобентос б. Севастопольской. Возможно, поэтому так отличалась взаимосвязь между численностью бактерий и геохимическими показателями именно в этой бухте.

Известно, что разрушение углеводородов зависит в том числе от состава автохтонного микробиального сообщества, причем бактерии играют главную роль в биodeградации углеводородов в морской среде [86]. Исчез-

Таблица 6.14 Коэффициенты корреляции численности бактерий и мейобентоса с количеством липидных фракций и суммой углеводородов (в илах)

n = 5	Гетеротрофы	Нефтеокисляющие	Мейобентос
Гетеротрофы	1,00	0,89	-0,62
Нефтеокисляющие	-0,89	1,00	-0,35
Мейобентос	-0,62	-0,35	1,00
Полярные липиды	-0,47	-0,33	0,28
Диглицериды	-0,60	-0,42	0,69
Стерины	-0,62	-0,46	0,01
Спирты	-0,51	-0,31	0,42
Жирные кислоты	-0,51	-0,31	0,44
Эфиры жирных кислот	-0,45	-0,21	0,36
Триглицериды	-0,59	-0,28	0,44
Воска + эфиры стерин	-0,48	-0,17	0,44
Углеводороды	-0,40	-0,25	0,25

новение некоторых бентосных видов, например, углеводородразрушающих микроорганизмов, по мнению К. Ли и И. М. Леви [87], может значительно уменьшить сопротивляемость экосистемы последующему загрязнению.

Становится очевидным, почему при развитии нематод в восстановительных условиях среды и сокращении аэробного бактериобентоса происходит накопление загрязняющих веществ.

Таким образом, исходя из посылок, отражающих подходы к контролю токсичности морских донных осадков [88], можно заключить, что в последних "контролерами" служат бактерио- и макрозообентос.

6.3 Макрозообентос. Макрозообентос бухт района Севастополя в 2000 г. исследовали по стандартной сетке станций (см. рис. 6.1). Пробы отбирали дночерпателем Петерсена площадью захвата $0,025 \text{ м}^2$ по четыре подъема в каждой точке. Макрозообентос отмывали на системе из двух сит, нижнее из которых имело отверстия диаметром 0,7 мм, и фиксировали 96° спиртом. В общей сложности выполнено 50 станций.

В 2000 г. в Севастопольской бухте на 19 станциях найдено 68 видов макрозообентоса, в числе которых 24 вида Mollusca, 12 - Crustacea, 30 - Polychaeta. Видовое разнообразие макрозообентоса наиболее высоко в устье бухты, где отмечено 58 видов (табл. 6.15). Численность макрозообентоса варьировала на различных станциях, хотя средние показатели по отдельным частям бухты достаточно разноразличны. Биомасса макрозообентоса на большинстве станций не превышала 50 г/м^2 (рис 6.5). По всей акватории бухты основной вклад в общую биомассу бентоса вносили моллюски: в большей степени двустворчатые, в меньшей – брюхоногие (см. табл. 6.15). Доля полихет и ракообразных в общей биомассе не очень велика, но существенно выше их вклад в численность бентоса.

По сравнению с 1994-1997 гг. общий список основных видов мало изменился, однако значительно снизились распространенность и численность *Hydrobia acuta*. Максимальные значения численности *H. acuta* обнаружены в вершине и средней части бухты – свыше 700 экз./м^2 , что, однако, почти на порядок ниже, чем в прошлые годы. В вершине бухты (ст. 1 - 6) доминировал комплекс церастодерма – трития – абра, отмечалась высокая численность гидробии, полихет *Capitella capitata* ($20-360 \text{ экз./м}^2$) и на одной станции личинок Chironomidae (840 экз./м^2). В центральной части (ст. 7 - 9) основной комплекс трития – церастодерма, абра имела пониженную биомассу. В устье бухты доминировал тот же комплекс, за исключением ст. 17, где присутствовало большое количество мидий, и ст. 13, где найдены только по 1 экз. *C. capitata* и *Iphinoe elisae*. Местами отмечалась достаточно высокая биомасса различных видов двустворчатых моллюсков, характерных для слабо загрязненных районов. Так, на ст. 14, 15 - это *Loripes lucinalis*, *Spisula*

Таблица 6.15. Характеристика макрозообентоса Севастопольской бухты, 2000 г.

Виды	Биомасса, г /м ²				Численность, экз. /м ²				Встречаемость, %
	Вся бухта	Вершина	Середина	Устье	Вся бухта	Вершина	Середина	Устье	
<i>Capitella capitata</i>	0,02	0,02	0,02	0,01	90	140	40	68	81
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,08	0,02	0,01	0,17	134	32	7	277	63
<i>Nephtys hombergii</i>	0,36	0,23	-	0,64	14	10	-	23	44
<i>Melinna palmata</i>	0,09	-	-	0,21	24	-	-	54	31
<i>Diogenes pugilator</i>	0,80	0,88	-	1,07	10	10	-	14	25
<i>Balanus improvisus</i>	3,51	0,50	3,13	6,24	113	7	123	200	50
Gammaridae	0,05	0,01	0,00	0,10	23	13	7	39	50
<i>Iphinoe elisae</i>	0,03	0,01	0,02	0,06	39	10	33	66	81
<i>Bittium reticulatum</i>	1,82	0,81	1,58	2,80	82	75	47	103	56
<i>Hydrobia acuta</i>	0,47	1,05	0,38	0,01	159	372	100	3	56
<i>Rissoa parva</i>	0,04	0,09	0,06	0,01	8	13	10	1	31
<i>Tritia reticulata</i>	16,48	10,50	27,59	16,84	33	32	43	30	69
<i>Abra ovata</i>	6,23	12,34	2,93	2,40	65	122	37	29	69
<i>Cerastoderma glaucum</i>	9,07	11,74	6,82	7,75	27	48	20	11	75
<i>Parvicardium exiguum</i>	0,15	0,01	0,30	0,21	14	13	23	10	38
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	45,06	2,03	160,47	32,48	30	3	63	39	25
<i>Mytilaster lineatus</i>	49,68	1,21	25,35	101,66	363	33	553	564	44
Прочие	10,22	1,03	2,30	21,45	262	210	154	354	
Всего	144,16	42,48	230,96	194,10	1490	1143	1260	1885	
В том числе, %									
Polychaeta	6,8	2,6	0,1	13,2	24,5	19,4	13,0	30,4	
Crustacea	11,0	17,3	0,6	10,0	15,9	5,0	14,6	21,9	
Gastropoda	26,0	31,3	38,3	16,1	19,8	43,7	16,4	8,4	
Bivalvia	54,0	48,3	61,0	55,8	36,3	20,0	56,1	39,2	
Число видов	68	30	25	58					

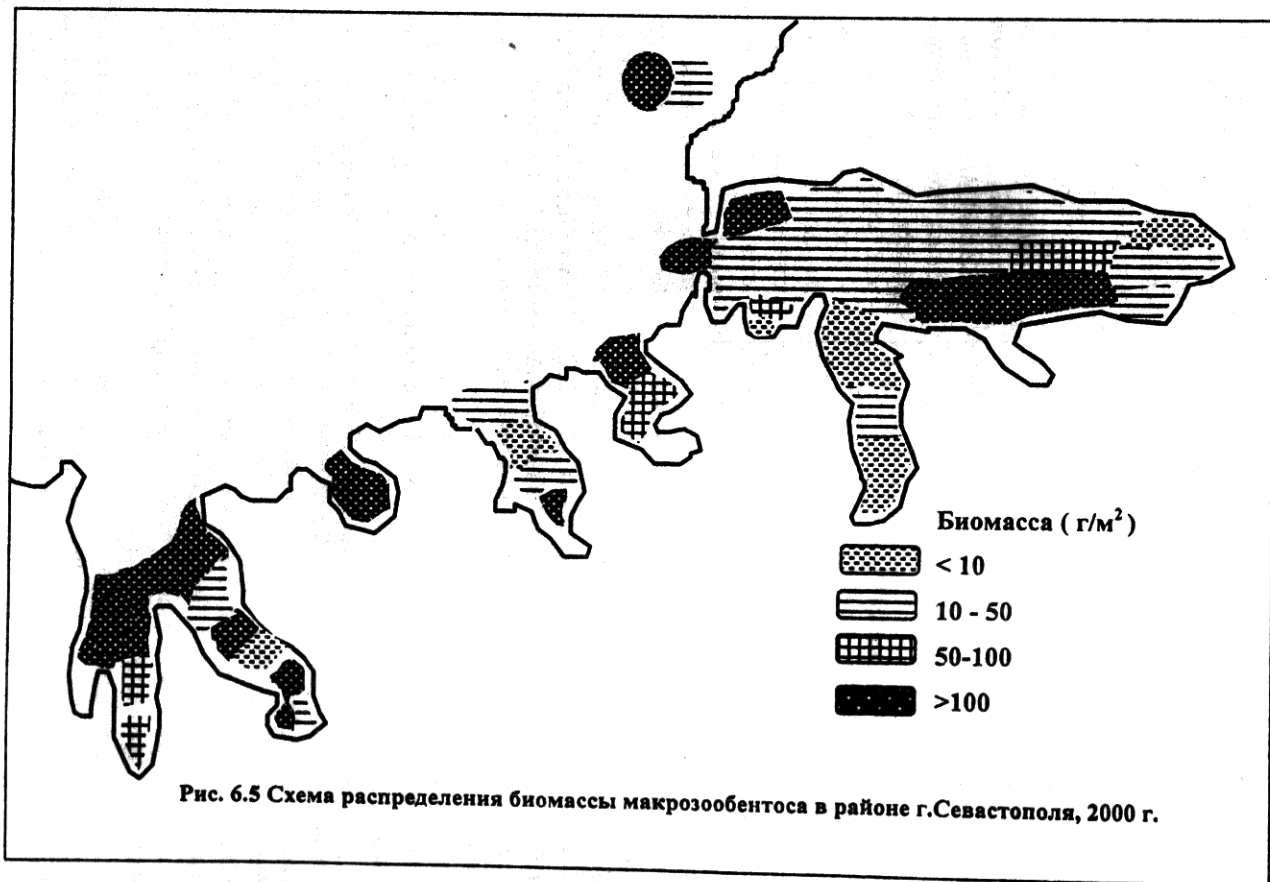


Таблица 6.16 Трофическая структура макрозообентоса б.Севастопольская, 2000 г.

Группы	Район		
	Вершина	Середина	Устье
Сестонофаги,%	48,8	61,0	54,7
Детритофитофаги,%	24,9	4,1	21,8
Плотноядные,%	26,3	34,9	23,5

Таблица 6.17. Характеристика макрозообентоса б.Южная, 2000 г.

Виды	Био-масса, г /м ²	Числен-ность, экз. /м ²	Встре-чаемость, %
<i>Capitella capitata</i>	0,004	37	33
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,010	67	33
<i>Polydora ciliata</i>	0,040	43	33
<i>Spio filicornis</i>	0,050	3	33
<i>Melinna palmata</i>	0,001	3	33
<i>Nephtys hombergii</i>	0,320	13	67
<i>Nereis diversicolor</i>	0,010	3	33
<i>Iphinoe elisae</i>	0,010	10	33
<i>Abra ovata</i>	0,050	7	33
<i>Cerastoderma glaucum</i>	11,570	13	33
<i>Mytilaster lineatus</i>	0,470	7	33
Всего	12.530	207	

найден *Modiolus adriaticus* на ст. 7 в центральной части бухты. Ранее этот вид отмечался только вблизи устья, где загрязнение донных осадков не столь велико.

В трофической структуре бентоса Севастопольской бухты в связи с широким распространением церастодермы и мидий на большинстве станций преобладали сестонофаги (табл. 6.16)

В Южной бухте встречено 11 видов макрозообентоса, при этом средняя численность и биомасса бентоса были несколько ниже показателей съемки 1997 г. (рис. 6.5). В вершине бухты (ст. 10) найден только 1 экземпляр *Nephtys hombergii*. В центральной части доминирующим видом являлась *C. glaucum*, а наиболее высокие показатели численности наблюдались у *Polydora ciliata* (табл. 6.17). Вблизи выхода из бухты отмечено 5 видов полихет, среди которых доминировала *Nephtys hombergii*. Гидробия и трития в Южной бухте не встречены.

В Карантинной бухте найдено 34 вида макрозообентоса (18 видов Mollusca, 5 – Crustacea, 11 – Polychaeta). Численность макробентоса составляла 1-2 тыс. экз./м², биомасса значительно выше в открытой части – до 340 г/м²

subtruncata, ст. 17, 19 – *Chamelea gallina*. Кроме того, наблюдалось большое разнообразие полихет (23 вида) и ракообразных (11 видов).

На 8 станциях были обнаружены митилиды (*Mytilus galloprovincialis*, *Mytilaster lineatus*, *Modiolus adriaticus*), которые встречались по всей акватории бухты. На ст. 7 и 17 в пробах присутствовали мидии достаточно крупных размеров, поэтому на этих станциях были максимальные значения биомассы, а биомасса митилид в несколько раз превышала биомассу всего остального бентоса. Впервые

Таблица 6.18 Характеристика макрозообентоса
6.Карантинная, 2000 г.

Виды	Биомасса, г /м ²	Численность, экз. /м ²
<i>Melinna palmata</i>	0,45	280
<i>Diogenes pugilator</i>	2,49	55
<i>Tritia reticulata</i>	20,33	25
<i>Bittium reticulatum</i>	2,54	180
<i>Nana donovani</i>	3,74	40
<i>Abra ovata</i>	4,72	35
<i>Cerastoderma glaucum</i>	4,70	20
<i>Parvicardium exiguum</i>	4,39	120
<i>Chamelea gallina</i>	68,85	95
<i>Polititapes sp.</i>	3,63	95
<i>Pitar rudis</i>	48,76	55
<i>Spisula subtruncata</i>	2,80	5
<i>Modiolus adriaticus</i>	9,60	30
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	10,18	5
<i>Mytilaster lineatus</i>	0,09	70
Прочие	6,05	430
Всего	193,32	1540

(см. рис. 6.5). В глубине бухты (ст. 20) доминировал комплекс *Tritia* - *Cerastoderma* - *Abra*, в открытой части (ст. 21) *Chamelea gallina* - *Pitar rudis* (табл. 6.18). Отмечалась достаточно высокая биомасса (несколько граммов на кв. метр) моллюсков *Modiolus adriaticus*, *Nana donovani*, *Parvicardium exiguum*, а также рака-отшельника *Diogenes pugilator*. По сравнению с 1997 г. произошло увеличение биомассы, численности и видового разнообразия бентоса.

отмечено 50 видов макробентоса, большинство из которых относилось к моллюскам (25 видов) и полихетам (16 видов). Это значительно превышало число видов предыдущих лет. Средние значения биомассы и численности также достаточно высоки (табл. 6.19). Численность и биомасса бентоса (3750 экз. /м² и 207,02 г /м²), а также количество видов (36) были наибольшими в вершине бухты (см. рис. 6.5), где доминировали абра и трития. Количественные показатели бентоса в других частях бухты значительно ниже. Наименьшая биомасса отмечена в центральной части бухты - 7-16 г/м². Здесь преобладали трития и *Bittium reticulatum*. В устье доминировала *Chamelea gallina* (более 80% общей биомассы), наблюдалась высокая численность *C. capitata* (147 экз./м²) и *Iphinoe elisae* (170 экз./м²).

В бухте Круглая (Омега) отмечено значительное увеличение биомассы (130 - 196 г /м²), численности (13 - 18 тыс. экз. /м²) и количества видов бентоса (49 видов) по сравнению с 1997 г. (табл. 6.20). Как и в прошлые годы, доминировали фильтраторы - *Chamelea gallina*; увеличилась биомасса брюхоногих моллюсков - *Bittium reticulatum* и *Tricolia pulla*, отмечалось значительное количество ракообразных и полихет. Среди последних наибольшая плотность наблюдалась у *Staurocephalus kefersteini* и *Aricidea jeffreysii* (от 1 до 7 тыс. экз. /м²). Впервые найден ланцетник.

Таблица 6.19. Характеристика макрозообентоса б. Стрелецкая, 2000 г.

Виды	Биомасса, г /м ²	Числен- ность, экз. /м ²	Встре- чаемость, %
<i>Capitella capitata</i>	0,10	394	100
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,02	66	75
<i>Melinna palmata</i>	0,17	22	50
<i>Nephtys hombergii</i>	0,40	19	50
<i>Spio filicornis</i>	0,08	10	50
<i>Balanus improvisus</i>	0,56	13	50
<i>Iphinoe elisae</i>	0,09	88	75
<i>Bittium reticulatum</i>	3,45	71	100
<i>Hydrobia acuta</i>	0,05	14	50
<i>Rissoa parva</i>	0,39	40	50
<i>Tritia reticulata</i>	20,10	28	50
<i>Nana donovani</i>	2,55	33	75
<i>Abra ovata</i>	21,32	195	75
<i>Abra nitida milachewichi</i>	0,81	48	75
<i>Cerastoderma glaucum</i>	0,10	15	50
<i>Parvicardium exiguum</i>	0,27	8	50
<i>Gouldia minima</i>	0,13	21	50
<i>Spisula subtruncata</i>	0,09	15	50
<i>Mytilaster lineatus</i>	3,39	111	50
Прочие	11,95	351	
Всего	66,02	1562	

В вершине бухты Круглая макрозообентос был представлен 42 видами. На иловых станциях численность, биомасса и количество видов были выше, чем на песках (табл. 6.21). Доминировал комплекс *Abra ovata* - *Cerastoderma glaucum*, причем на илах биомасса этих видов была примерно одинаковой, на песках преобладала церастодерма. Субдоминирующее положение на илах занимала *Nana donovani*, а на песках также *Mytilaster lineatus*, *Hydrobia acuta* и *Nereis diversicolor*. На стан-

циях, занятых илом, отмечалась высокая численность корофиид и личинок хирономид.

В трофической структуре бентоса на илах преобладали детритофаги (в среднем 58 % от общей биомассы), а на песках – фильтраторы (58 %). На песках достаточно высока была доля плотоядных - в среднем 25 % от общей биомассы. Индекс Шеннона составлял 1,96-2,57 на иловых станциях и 1,40-1,72 – на песчаных.

Макрозообентос б. Камышовая в 2000 г. мало изменился по составу и распределению, но почти в два раза увеличилась его численность. Индекс видового сходства с 1994-1997 годами равнялся 58-62%. В составе макрозообентоса бухты отмечено 58 видов, наибольшее количество видов обитало в устьевой части (табл. 6.22). Характер распределения биомассы, как и в прошлые годы, проявлял выраженную пятнистость (см. рис. 6.5), однако средние значения количественных показателей по различным участкам бухты достаточно высоки.

Таблица 6.20. Характеристика макрозообентоса бухты Круглая, 2000 г.

Виды	Биомасса, г /м ²	Числен- ность, экз. /м ²
<i>Aricidea jeffreysii</i>	0,30	940
<i>Staurocephalus kefersteini</i>	0,48	6230
<i>Exogone gemmifera</i>	0,06	4050
<i>Pectinaria koreni</i>	0,14	5
<i>Diogenes pugilator</i>	1,41	65
<i>Idotea baltica basteri</i>	0,71	325
<i>Iphinoe elisae</i>	0,02	35
Gammaridae	1,09	440
<i>Chaetogammarus ischnus</i>	0,40	200
<i>Dexamine spinosa</i>	0,10	140
<i>Lepidochitona cinerea</i>	0,02	35
<i>Bitium reticulatum</i>	38,03	1790
<i>Tricolia pulla</i>	14,22	425
<i>Gibbula divaricata</i>	0,56	5
<i>Gibbula adriatica</i>	0,47	5
<i>Chamelea gallina</i>	100,86	370
<i>Loripes lucinalis</i>	1,26	20
<i>Modiolus adriaticus</i>	0,01	25
<i>Mytilaster lineatus</i>	1,08	95
Прочие	1,37	550
Всего	162,59	15750

Снижение биомассы и видового состава макрозообентоса в средней части бухты (ст. 37) очевидно связано с проведением дноуглубительных работ. Здесь отмечено только несколько видов полихет и молодь моллюсков. Максимальная биомасса зарегистрирована в устье бухты (ст. 41, 42) свыше 200 г /м², а численность в вершине (ст. 36, 38) – 3500-3900 экз./м². В вершине и центральной части бухты доминировал комплекс *Cerastoderma glaucum* – *Abra ovata*, на одной станции в вершине (ст. 35) доминировала *Tritia reticulata*, а в центре (ст. 38) отмечалась высокая биомасса митилид (более

50% от общей биомассы бентоса). В устье бухты доминировали моллюски, характерные для незагрязненных песчаных биотопов – *Chamelea gallina*, *Pitar rudis*, *Modiolus adriaticus*. В трофической структуре макрозообентоса на большинстве станций преобладали сестонофаги (табл. 6.23), лишь на двух – плотоядные (ст. 35) и детритофаги (ст. 37).

В б. Казачья состав макрозообентоса включал 66 видов (моллюски – 30 видов, полихеты – 20, ракообразные – 9), при средней биомассе 287,2 г/м² и численности 2430 экз. /м². Количественные характеристики бентоса и основной видовой состав по сравнению в 1994-1997 гг. существенно не изменились. Индекс видового сходства Жаккара 1997 - 2000 гг. составил 0,52, при этом в изменения коснулись в основном полихет и брюхоногих моллюсков. Максимальная биомасса – более 700 г /м² – отмечена на ст. 53 вблизи выхода из бухты; в вершине бухты биомасса бентоса была значительно ниже (табл. 6.24).

Различался видовой состав в вершине бухты и на остальной ее части. Основными видами в вершине бухты (ст. 48 - 49) являлись *Abra ovata*, *Tritia*

Таблица 6.20 Характеристика макрозообентоса в вершине б. Круглая, 2000 г.

Наименование видов	Численность, экз. /м ²		Биомасса, г /м ²	
	Илы	Пески	Илы	Пески
<i>Capitella capitata</i>	605	782	0,04	0,10
<i>Nereis diversicolor</i>	1163	57	6,33	0,09
<i>Spio filicornis</i>	33	332	0,01	0,10
<i>Heteromastus filiformis</i>	79	-	0,07	-
Chironomidae	1538	113	2,27	0,07
<i>Iphinoe tenella</i>	471	319	0,21	0,11
<i>Idotea baltica basteri</i>	392	19	0,58	0,01
<i>Dexamine spinosa</i>	204	7	0,10	0,01
<i>Ampelisca diadema</i>	-	76	-	0,03
Gammaridae	63	-	0,06	-
Corophiidae	1479	163	0,68	0,05
<i>Apseudopsis ostroumovi</i>	-	13	-	0,01
<i>Tanais cavolini</i>	4	13	0,01	0,01
<i>Nana donovani</i>	84	51	6,03	19,78
<i>Hydrobia acuta</i>	2342	526	6,73	1,54
<i>Bittium reticulatum</i>	58	13	1,55	0,34
<i>Tricolia pulla</i>	25	7	0,88	0,16
<i>Rissoa parva</i>	9	-	0,06	-
<i>Gibbula adriatica</i>	33	-	0,86	-
<i>Cerastoderma glaucum</i>	458	157	66,44	42,84
<i>Parvicardium exiguum</i>	4	-	1,00	-
<i>Abra ovata</i>	822	51	64,45	11,89
<i>Loripes lucinalis</i>	8	7	2,52	0,03
<i>Mytilaster lineatus</i>	500	7	10,22	0,20
Прочие	131	257	3,26	0,05
Всего	10507	2964	174,34	77,41
Число видов	35	25	35	25

reticulata и *Cerastoderma glaucum*, кроме того, здесь отмечалось большое количество *Bittium reticulatum*, *Tricolia pulla*. В трофической структуре бентоса на этом участке бухты роль сестонофагов невелика. В центральной части бухты (ст. 50 - 51) более 50 % биомассы приходилось на митилиды (мидии и митилястр), субдоминирующее положение занимали *Chamelea gallina*, *Pitar rudis*, *Polititapes sp.*, *Spisula subtruncata*. Ближе к выходу из бухты (ст. 52 - 53), при сохранении достаточно высокой биомассы мидий и митилястра, доминировали *Ch. gallina*, *Pitar rudis* и *Modiolus adriaticus*. Здесь встречалось большое количество видов полихет и ракообразных, присутствовали офиуры (*Amphiura stepanovi*), однако численность и биомасса их невелики. Как и в прошлые годы, на этих участках бухты преобладали сестонофаги (более 90 % по биомассе), тогда как в вершине бухты – детритофаги (77%).

Таблица 6.22. Характеристика макрозообентоса бухты Камышовая, 2000 г.

Виды	Биомасса, г /м ²				Численность, экз. /м ²				Встречае- мость, %
	Вся бухта	Вершина	Середина	Устье	Вся бухта	Вершина	Середина	Устье	
<i>Capitella capitata</i>	0,01	0,01	0,01	-	11	17	17	-	44,4
<i>Melinna palmata</i>	1,54	0,19	1,13	3,30	201	33	120	449	77,8
<i>Harmothoe reticulata</i>	0,06	-	0,11	0,08	49	-	33	113	55,6
<i>Balanus improvisus</i>	3,49	0,41	5,52	4,54	97	7	107	177	66,7
<i>Bittium reticulatum</i>	2,10	0,81	2,89	2,59	126	50	207	121	77,8
<i>Tricollia pulla</i>	0,28	0,07	0,55	0,21	15	3	33	8	44,4
<i>Rissoae membranacea</i>	0,11	0,29	0,03	0,02	61	160	10	13	33,3
<i>Rissoae splendida</i>	0,04	0,08	0,02	0,02	8	13	7	4	33,3
<i>Rissoa parva</i>	0,41	1,12	0,11	-	157	450	20	-	44,4
<i>Tritia reticulata</i>	12,46	15,82	-	21,56	10	10	-	20	33,3
<i>Gibbula adriatica</i>	0,70	1,28	0,29	0,53	4	7	3	3	33,3
<i>Abra ovata</i>	12,26	28,14	8,26	0,39	127	220	107	56	100
<i>Chamelea gallina</i>	17,57	-	-	52,72	15	-	-	44	33,3
<i>Cerastoderma glaucum</i>	24,17	42,87	22,58	7,05	61	133	47	3	77,8
<i>Loripes lucinalis</i>	1,22	3,55	0,10	-	8	3	20	-	33,3
<i>Modiolus adriaticus</i>	4,16	-	0,06	12,41	67	-	87	116	66,7
<i>Mytilaster lineatus</i>	21,31	3,00	42,90	18,02	399	193	680	323	77,8
<i>Mytilus gallioprovincialis</i>	1,89	-	4,00	1,65	21	-	57	7	33,3
Прочие	7,93	1,20	1,55	21,10	459	124	265	987	
Всего	111,71	98,84	90,11	146,19	1896	1423	1820	2444	
Количество видов	58	22	35	45					

Таблица 6.23 Трофическая структура макрозообентоса б. Камышовая, 2000 г.

Группа	Вся бухта	Район бухты		
		Вершина	Середина	Устье
Сестонофаги, %	71,1	50,5	84,1	77,0
Детритофитофаги, %	17,2	32,4	15,8	7,8
Плотоядные, %	11,7	17,1	0,2	15,2

Таблица 6.24 Характеристика макрозообентоса бухты Казачья, 2000 г.

Виды	Численность, экз. /м ²		Биомасса, г /м ²	
	ст. 48 - 49	ст. 50 - 53	ст. 48 - 49	ст. 50 - 53
<i>Harmathoe reticulata</i>	15	128	0,018	0,077
<i>Nephtys hombergii</i>	5	28	0,08	0,486
<i>Exogone gemmifera</i>	-	30	-	0,002
<i>Staurocephalus kefersteini</i>	10	65	0,003	0,010
<i>Heteromastus filiformis</i>	-	65	-	0,039
<i>Capitella capitata</i>	115	20	0,029	0,002
<i>Melinna palmata</i>	65	288	0,513	3,335
<i>Pectinaria coreni</i>	-	13	-	0,208
<i>Prionospio cirrifera</i>	-	98	-	0,020
<i>Balanus improvisus</i>	-	50	-	0,735
<i>Diogenes pugilator</i>	-	30	-	1,520
<i>Synisoma capito</i>	10	40	0,255	0,044
<i>Dexamine spinosa</i>	25	63	0,005	0,047
<i>Iphinoe elisae</i>	30	75	0,015	0,054
<i>Nana donovani</i>	35	13	2,697	1,064
<i>Tricolia pulla</i>	270	43	7,906	0,830
<i>Tritia reticulata</i>	15	3	8,49	4,720
<i>Bittium reticulatum</i>	190	105	13,185	3,304
<i>Abra nitida milachewichi</i>	315	25	1,232	0,135
<i>Abra ovata</i>	80	-	25,412	-
<i>Gouldia minima</i>	5	5	0,006	0,988
<i>Parvicardium exiguum</i>	15	20	0,082	3,213
<i>Cerastoderma glaucum</i>	5	-	1,645	-
<i>Chamelea gallina</i>	-	103	-	129,748
<i>Pitar rudis</i>	-	95	-	48,898
<i>Spisula subtruncata</i>	-	18	-	5,690
<i>Lucinella divaricata</i>	-	45	-	1,368
<i>Modiolus adriaticus</i>	45	100	1,317	41,471
<i>Mytilaster lineatus</i>	65	713	0,108	53,723
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	-	115	-	89,050
Прочие	700	258	5,31	6,42
Всего	1930	2680	66,66	397,452
Количество видов	33	54	33	54

Таблица 6.25 Характеристика макрозообентоса в районе пос. Учкеевка, 2000 г.

Виды	Биомасса, г /м ²	Численность, экз. /м ²
<i>Chamelea gallina</i>	229,67	155
<i>Mytilaster lineatus</i>	3,08	45
<i>Pitar rudis</i>	2,77	5
<i>Diogenes pugillator</i>	1,76	40
<i>Balanus improvisus</i>	1,67	50
<i>Nephtys cirrosa</i>	1,26	60
<i>Lucinella divaricata</i>	1,21	70
<i>Nephtys hombergii</i>	0,51	54
<i>Gouldia minima</i>	0,34	5
<i>Polititapes sp.</i>	0,30	5
<i>Nana donovani</i>	0,28	5
<i>Spisula subtruncata</i>	0,23	25
<i>Bittium reticulatum</i>	0,17	10
Прочие	0,03	109
Всего	243,28	638

численны. В трофической структуре преобладали сестонофаги (95,5 % от общей биомассы).

В 2000 г. индекс видового разнообразия Шеннона на всех исследованных акваториях района г.Севастополя имел достаточно высокие величины (рис. 6.6). Снижение значений индекса (менее 1,0) отмечались на загрязненных участках б.Южная и в центральной части б. Севастопольская, и на практически чистых станциях 32 (б.Круглая) и 45 (район Учкеевки) за счет резко выраженного доминирования *Chamelea gallina* (более 90% от биомассы бентоса).

Таким образом, последние годы в б. Севастопольская наблюдался рост видового разнообразия и количественных показателей как всего бентосного сообщества, так и отдельных доминирующих видов. Особенно заметно это проявилось в центральной части бухты, где ранее нередки были участки с полным отсутствием донных организмов. Количество регистрируемых видов зообентоса более чем в два раза превышало показатели 1985 – 1988 гг. Состав доминирующих видов бентоса при этом существенно не изменился. Аналогичные тенденции отмечены в других бухтах: и с высоким уровнем загрязнения (б. Южная), и в менее загрязненных (б.Карантинная, б. Камышовая).

Анализ донных осадков, как среды обитания макрозообентоса, и состояния биоценозов на этих биотопах показал, что прослеживается обратная связь между биомассой и численностью макрозообентоса и количеством хло-

у открытого побережья в районе пос. Учкеевка

Найдено 24 вида макрозообентоса. Биомасса макрозообентоса на глубине 15 м значительно выше (более 300 г /м²), чем вблизи берега (см. рис. 6.5). На всех станциях доминировала *Chamelea gallina* (табл. 6.25), встречалось много других моллюсков-фильтраторов:

Lentidium mediterraneum, *Lucinella divaricata*, *Pitar rudis*, *Gouldia minima* и др. Видовой состав двустворчатых моллюсков по сравнению с 1997 г. существенно не изменился. Количество видов полихет возросло, однако они были мало-

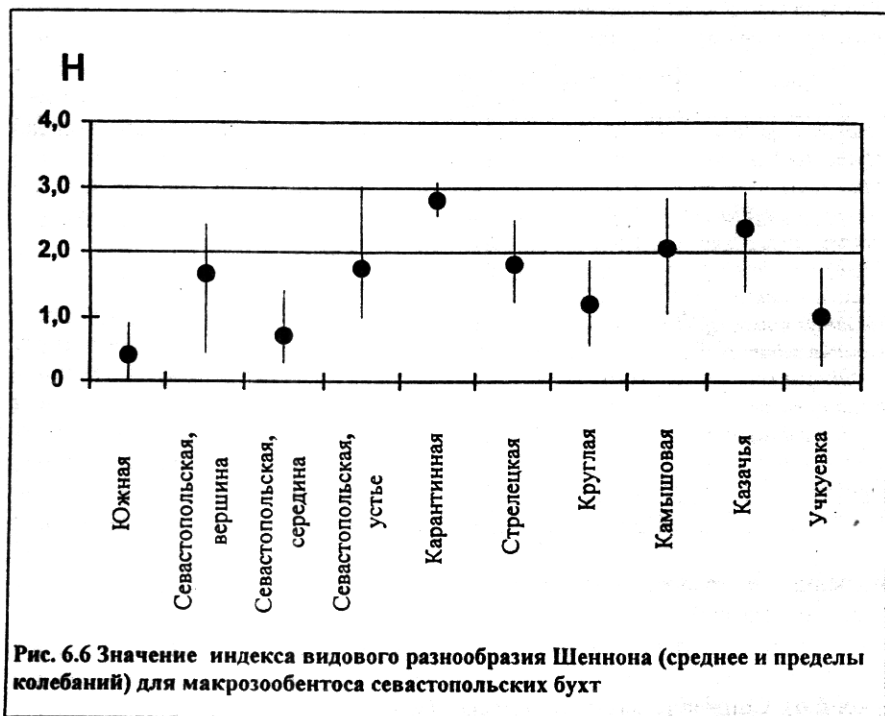
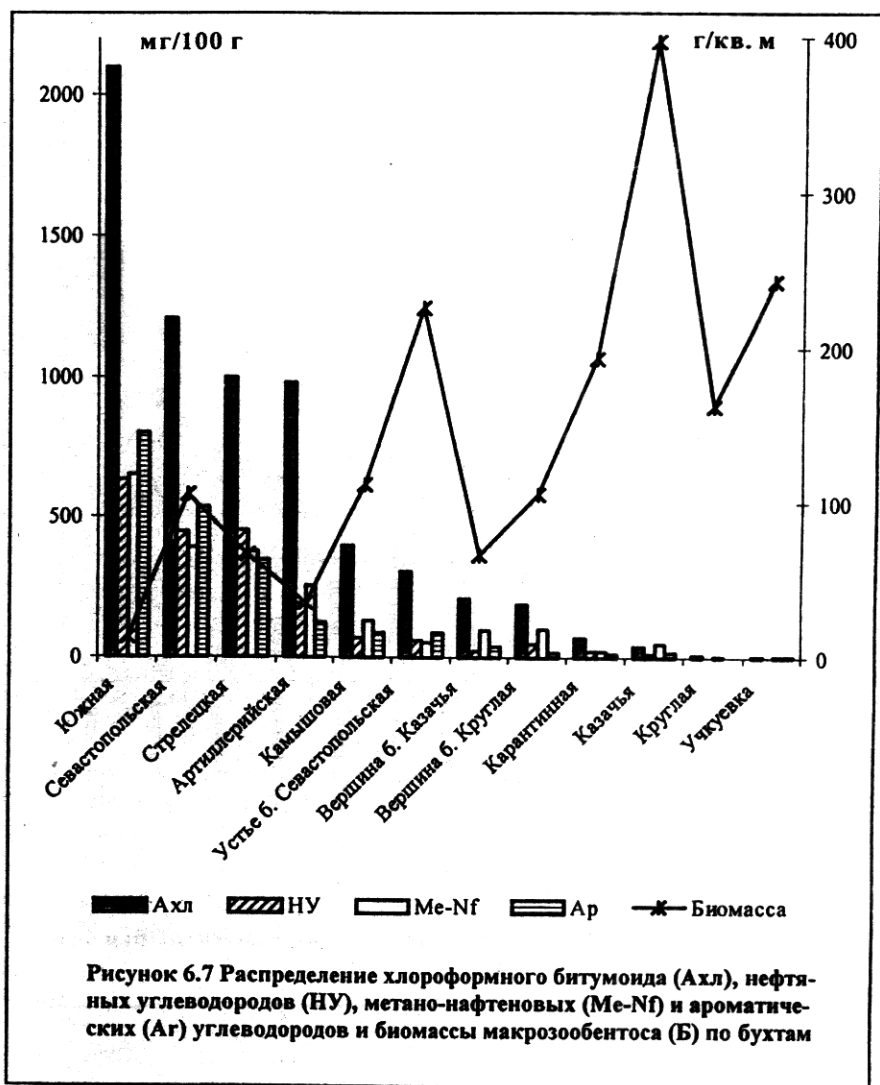
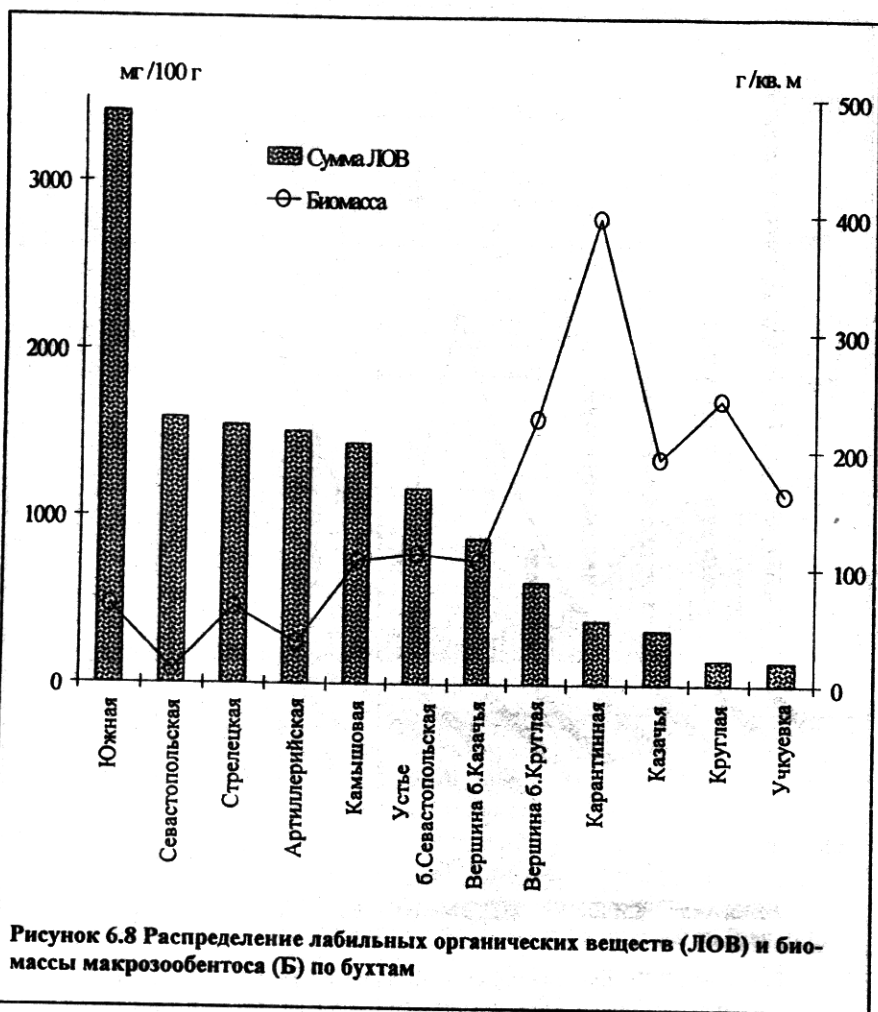


Рис. 6.6 Значение индекса видового разнообразия Шеннона (среднее и пределы колебаний) для макрозообентоса севастопольских бухт

роформного битумоида, нефтяными, метано-нафтеновыми и ароматическими углеводородами (рис. 6.7). Биомасса макрозообентоса находится также в противофазе с лабильными органическими соединениями (углевод-, белково-, липидоподобными), претерпевшими трансформацию из-за притока аллохтонных загрязняющих веществ (рис. 6.8). При увеличении уровня нефтяного загрязнения изменяется трофическая структура макрозообентоса: снижается доля сестонофагов и возрастает доля плотоядных и детритофагов (рис. 6.8).

Пороговыми величинами, определяющими позитивные и негативные экологические условия в бухтах, можно считать количество битумоида (Ахл) 0,5 г /100 г сух. осадка и 50 мг /100 г сух. осадка нефтяных углеводородов (НУ). Другие группы углеводородов (Me-Nf и Ar) имеют вдвое большую пороговую величину: до 100 мг /100 г сух. осадка, поскольку представляют собой не только аллохтонные, но и автохтонные углеводородные компоненты.





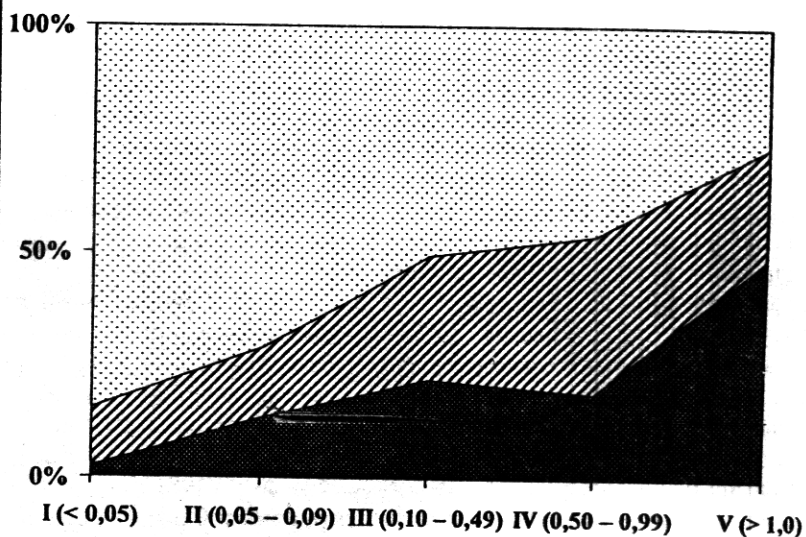


Рис. 6.9 Трофическая структура макрозообентоса при различных уровнях нефтяного загрязнения

Глава 7. Исследование биоты гидротехнических сооружений

Одним из антропогенных факторов, влияющих на состояние прибрежных акваторий, являются гидротехнические сооружения. Так, причальные линии в портах достигают многих десятков километров по своей протяженности, что значительно увеличивает поверхность твердых субстратов для развития прикрепленных биоценозов. В бухтах, ставших портами, эти искусственные субстраты по своей поверхности могут сравниться, а в некоторых случаях и превысить естественные. Биота искусственных гидротехнических сооружений существенно влияет на общую продуктивность водоема и формирование качества воды в конкретном регионе.

Защитные молы в Севастопольской и Камышовой бухтах были построены в 70 – 80 гг. XX столетия. Это внесло изменения в водообмен бухты с открытым морем и значительно увеличило площадь твердого субстрата для развития организмов-обрастателей, в первую очередь, фильтраторов, играющих большую роль в процессах самоочищения. В б. Севастопольской южный мол был построен в 1977 – 1980 гг., северный мол – в 1976 г., в б. Камышовой – южный мол построен в 1971 – 1977 гг., северный – в 1981 г.

Сбор материала на гидротехнических сооружениях Севастопольской и Камышовой бухт проводился в начале 80 гг. (на молах – по мере строительства, на причалах) [39, 47] в 1987 г. и в 1992 г. На молах пробы собирали по профилям, с внешней и внутренней стороны. На каждом глубоководном профиле (12 – 14 м) исследовали по три горизонта (верхний, средний и нижний). Подводная часть прибрежных профилей молов имела глубину 1 м; здесь выделены только верхний и нижний горизонты. На причалах пробы брали в верхней, нижней и средней частях обросшей вертикальной плоскости. При высоте полосы оброста менее 3 м отбирали две пробы – верхнюю и нижнюю, а при ширине 1 – 1,5 м – одну среднюю. В 1992 г. пробы на молах и причалах собирались только в верхнем и среднем горизонтах.

7.1 Макрозообентос гидротехнических сооружений.

В данном разделе приведены данные по макрозообентосу, исключая сведения о митилидах, рассмотренных в отдельном разделе.

Молы б. Севастопольская. (рис. 7.1)

В 1980 г. биомасса макрозообентоса на южном молу была выше в среднем горизонте (табл. 7.1). Максимальная биомасса была зарегистрирована с внутренней стороны южного мола на профиле II (1327 г/м^2). Этот район наиболее защищен от влияния прибоа. Напротив, с внешней стороны на профиле I, где находится канализационный сток, отмечена минимальная биомасса ($4,6 \text{ г/м}^2$).

Мидии и митилистры встречались менее, чем на половине станций (табл. 7.2). Доля митилид была также наиболее высока в среднем горизонте

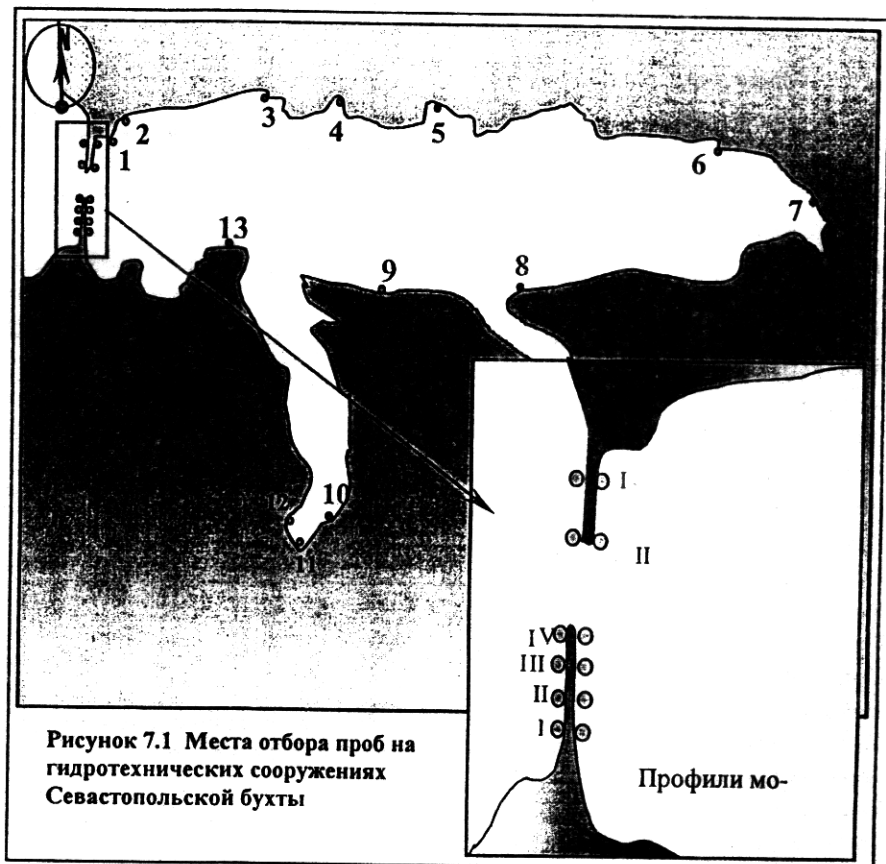


Таблица 7.1 Биомасса (средняя, г/м²) макрозообентоса на молах б. Севастопольской в 1980 г.

Горизонты	Внешняя сторона			Внутренняя сторона		
	1980 г.	1987 г.	1992 г.	1980 г.	1987 г.	1992 г.
Южный мол						
Верхний	8,7	4330,1	11326,9	77,6	12302,4	10871,9
Средний	156,4	1812,9	13271,2	477,8	525,1	20563,8
Нижний	53,5	17,3	-	53,8	345,5	-
Северный мол						
Верхний	73,8	11409,2	1820,8	74,5	938,1	8738,8
Средний	68,0	10519,1	5945,0	265,5	10976,9	-
Нижний	261,6	3268,0	-	22,9	508,2	-

Таблица 7.2 Видовой состав и встречаемость (%) макрофауны на южном молу Севастопольской бухты

Вид, группа	Внешняя сторона			Внутренняя сторона		
	1980	1987	1992	1980	1987	1992
1	2	3	4	5	6	7
Hydrozoa	10	-	-	9	-	-
Porifera	-	-	-	5	-	-
<i>Lepralia pallasiana</i>	25	46	-	18	33	75
<i>Actinia equina</i>	-	-	33	-	-	-
Nemertini	-	-	33	-	-	-
Polychaeta var.	30	100	-	18	78	25
Aphroditidae	-	-	33	-	-	25
Nereidae	15	-	100	9	-	75
Syllidae	-	-	100	-	-	25
<i>Phylodoce sp.</i>	-	-	33	-	-	25
<i>Polydora ciliata</i>	-	-	-	-	-	25
Chironomidae	5	-	33	-	-	-
Pantopoda	-	-	33	-	-	25
<i>Balanus improvisus</i>	35	73	67	36	78	-
Caprellidae	-	-	33	-	-	-
Gammaridea	30	18	100	14	-	50
<i>Idotea baltica bastery</i>	5	9	33	23	-	25
<i>Naesa bidentata</i>	5	-	-	-	-	-
<i>Spheroma serratum</i>	5	-	-	-	-	-
<i>Synisoma capito</i>	-	-	33	-	-	25
<i>Leptochelia savignii</i>	10	-	67	-	-	50
<i>Tanais cavolini</i>	-	-	100	5	-	50
Natantia	5	9	33	5	11	25
Reptantia	-	-	-	11	-	-
<i>Pilumnus hirtellus</i>	-	-	67	5	-	50
<i>Pisidia longimana</i>	-	-	-	-	-	25
<i>Carcinus mediterraneus</i>	-	-	-	5	-	-
<i>Acantochitona fascicularis</i>	-	-	67	-	-	50
<i>Lepidochitona cinerea</i>	15	18	-	5	33	-
<i>Bittium reticulatum</i>	25	46	-	14	67	-
<i>Cerithiopsis tuberculatus</i>	-	-	33	-	-	25
<i>Gibbula divaricata</i>	-	18	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
<i>Gibbula adriatica</i>	-	-	33	-	-	-
<i>Gibbula albida</i>	-	9	-	-	-	-
<i>Petricola lithophaga</i>	5	-	-	5	-	-
<i>Rapana thomassiana</i>	-	-	-	9	-	-
<i>Rissoa parva</i>	-	-	-	-	-	25
<i>Rissoa splendida</i>	10	36	67	18	78	25
<i>Rissoa membranacea</i>	-	9	-	44	-	-
<i>Tricolia pulla</i>	15	46	-	5	11	-
<i>Triria reticulata</i>	-	18	-	22	-	-
Cardiidae	-	-	-	5	-	-
<i>Parvicardium exiguum</i>	-	-	-	-	-	25
<i>Mytilaster lineatus</i>	40	82	100	41	56	100
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	25	64	100	5	56	100
<i>Ostrea edulis</i>	-	-	-	5	-	-
<i>Botrylus schlosseri</i>	25	-	-	32	-	50
Количество видов	20	16	23	26	10	24

и составляла 79 % от общей биомассы на внешней стороне мола и 74 % – на внутренней. Среди других представителей макрофауны доминировали по биомассе ботриллюсы (до 157,6 г/м²), субдоминантные группы – баянусы (до 88,9 г/м²), полихеты (до 75,8 г/м²), много гидроидов (до 61,6 г/м²) и риссой (до 31,2 г/м²). Некоторые виды встречались в 1-2 пробах, но имели значительную биомассу: крабы *Pilumnus hirtellus* и *Carcinus mediterraneus* (99,9 г/м²), моллюск-камнеточец *Petricola lithophaga* (60,6 г/м²).

Северный мол был беднее зообентосными организмами, чем южный, хотя построен раньше (табл. 7.3). Биомасса макрофауны на внешней стороне была выше в нижнем горизонте, а на внутренней – в среднем (см. табл. 7.1). Митилиды отсутствовали в верхнем горизонте с внешней стороны и среднем – с внутренней. Биомасса митилид составляла 79 % в донном горизонте с внешней стороны и 87 % в верхнем горизонте с внутренней стороны мола. В среднем и нижнем горизонтах отмечалась высокая биомасса баянуса (до 204,5 г/м²) и ботриллюсы (до 52,8 г/м²). Верхний горизонт был наиболее беден организмами макрозообентоса; кроме мидий здесь обнаружено незначительное количество идотей, амфипод, полихет (0,3 – 1,8 г/м²) и ботриллюсов (17,2 г/м²). Виды, единично встреченные на северном молу и имевшие высокую биомассу – усоногие раки *Chthamalus depressus* (71,1 г/м²), губки (48,1 г/м²).

Таблица 7.3 Видовой состав и встречаемость (%) макрофауны на северном молу Севастопольской бухты

Вид, группа	Внешняя сторона			Внутренняя сторона		
	1980	1987	1992	1980	1987	1992
Hydrozoa	-	-	-	13	-	-
Porifera	10	-	-	-	-	-
<i>Lepralia pallasiana</i>	-	-	33	25	-	-
Nemertini	10	-	-	-	-	-
Polychaeta var.	10	100	-	25	80	-
Nereidae	10	-	67	-	-	100
<i>Acantochitona fascicularis</i>	-	-	-	-	-	50
<i>Lepidochitona cinerea</i>	10	40	-	-	40	-
<i>Bittium reticulatum</i>	10	80	-	38	100	-
<i>Gibbula divaricata</i>	-	40	-	-	-	-
<i>Gibbula albida</i>	-	40	-	-	-	-
<i>Rissoa splendida</i>	10	40	-	-	80	-
<i>Rissoa membranacea</i>	-	-	-	-	20	-
<i>Tricolia pulla</i>	-	40	-	-	-	-
Chironomidae	10	-	-	-	-	-
Pantopoda	-	-	-	-	-	100
<i>Balanus improvisus</i>	10	60	-	50	80	-
<i>Balanus eburneus</i>	10	-	-	-	-	-
<i>Leptochelia savignii</i>	-	-	33	-	-	-
<i>Tanais cavolini</i>	-	-	33	-	-	50
<i>Idotea baltica</i> bastery	10	20	-	13	-	50
<i>Naesa bidentata</i>	10	-	-	-	-	-
<i>Spheroma serratum</i>	10	-	-	-	-	-
Gammaridea	30	60	33	-	20	50
Natantia	-	40	-	-	-	-
Reptantia	-	60	-	-	20	-
<i>Eriphia verrucosa</i>	-	-	33	-	-	-
<i>Pilumnus hirtellus</i>	-	-	33	-	-	-
<i>Chthamalus depressus</i>	10	-	-	-	-	-
Cardiidae	-	-	-	13	-	-
<i>Mytilaster lineatus</i>	20	80	100	-	60	50
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	20	80	100	25	60	100
<i>Ostrea edulis</i>	10	-	-	-	-	-
<i>Botryllus schlosseri</i>	20	20	-	13	-	-
Количество видов	19	15	9	9	10	8

В 1987 г. биомасса макрофауны значительно возросла по сравнению с 1980 г. (см. табл. 7.1). На южном молу максимальная биомасса макрозообентоса была с внутренней стороны мола в верхнем горизонте, причем на долю митилид приходилось 98 % биомассы. Среди остальных видов доминировали

балаanusy – их биомасса составляла до 333 г/м^2 ; субдоминантным видом был биттиум – до 102 г/м^2 . С внешней стороны биомасса балаануса была незначительно меньше, достигая значений 308 г/м^2 . Как с внешней, так и с внутренней стороны было много полихет – до $7,7 \text{ г/м}^2$.

На северном молу высокие значения биомассы отмечались как с внутренней стороны, так и с внешней. С внешней стороны также было много балаанусов – до 165 г/м^2 , биттиумов – до $70,5 \text{ г/м}^2$. С внутренней стороны биомасса балаанусов достигала 700 г/м^2 , а биттиумов – 220 г/м^2 . Численность последних с внутренней стороны в нижнем горизонте достигала 48790 экз./м^2 .

Видовой состав по сравнению с 1980 г. стал беднее, состав основных видов практически не изменился (см. табл. 7.2., 7.3). В основном отсутствовали виды, встречавшиеся ранее лишь на отдельных станциях. Значительно более распространенными стали митилиды, балаанусы и биттиум.

В 1992 г. биомасса макрофауны на южном молу еще более возросла (см. табл. 7.1). Мидии и митилистры встречались во всех пробах и составляли в сумме более 99 % общей биомассы. Среди других видов более высокой биомассой отличались только крабы *Pilumnus hirtellus* ($2,5\text{--}13,8 \text{ г/м}^2$). Мшанки и асцидии встречались только на внутренней стороне мола, балаанусы – только на внешней. Значительно разнообразнее стал видовой состав полихет и ракообразных (см. табл. 7.2).

На причалах Севастопольской бухты (см. рис. 7.1). В 1981 г. в составе макрофауны обрастаний было отмечено 24 вида, в том числе, 4 вида полихет, 8 – ракообразных, моллюсков, кроме митилид – 5. Общая биомасса макрозообентоса составляла $41,4\text{--}6481,9 \text{ г/м}^2$, в среднем $1528,6 \text{ г/м}^2$ (табл. 7.4).

В составе «обраста», помимо митилид, преобладали балаанусы (встречаемость 100 %, биомасса до 6163 г/м^2), мшанки (85 %, биомасса до 750 г/м^2), и асцидии (75 %, биомасса до 1955 г/м^2). Балаанусы в основном были представлены видом *Balanus improvisus*. Другой вид балаанусов, *B. ebarneus*, отмечался только в верхнем горизонте причала 7 в очень небольшом количестве. Из мшанок была найдена *Lepralia palassiana*. Асцидии представлены колониальным видом *Botryllus schlosseri* и в трех случаях одиночной *Molgula euprocta*. Губки были обнаружены в верхнем горизонте причалов 7 и 8. Там же найден гидроид *Obelia longissima*. Из других групп животных в состав оброста входила полихета *Mercierella enigmatica* (552 г/м^2), отмеченная в верхнем горизонте причала 9.

«Подвижные формы» представляли полихеты, крабы, амфиподы и моллюски-гастроподы: рапана и трития. Среди полихет повсюду преобладали представители семейства Nereidae (до $61,9 \text{ г/м}^2$). Из ракообразных наиболее часто (в 5 пробах) встречался краб *Pilumnus hirtellus* (до 320 г/м^2). За счет большой индивидуальной массы гастропод (рапана – до 1634 г/м^2) на некото-

Таблица 7.4 Распределение биомассы на причалах Севастопольской бухты по горизонтам.

Причал	Горизонт	Биомасса, г/м ²		
		общая	об- рост	под- вижные формы
1	Верхний	943,9	940,0	3,9
2	Верхний	511,4	510,1	1,3
	Нижний	41,1	30,2	10,9
3	Верхний	1218,3	849,6	368,7
	Нижний	185,0	80,0	105,0
4	Верхний	6481,9	6419,2	62,8
	Средний	1784,7	1782,1	2,6
5	Верхний	1326,1	1326,1	17,6
	Нижний	2401,5	2398,0	3,6
6	Верхний	1044,9	1044,9	12,0
	Средний	1381,9	1290,6	91,3
	Нижний	1453,0	1370,1	82,9
7	Верхний	676,2	652,6	23,6
	Нижний	1844,3	1839,9	4,4
8	Верхний	567,0	567,0	8,0
9	Верхний	1823,0	1819,9	3,1
	Нижний	1903,5	210,0	1693,6
10	Средний	900,0	900,0	9,6
11	Средний	1874,4	1874,4	24,3
12	Верхний	251,2	250,9	0,2
	Нижний	519,8	519,8	33,9
13	Верхний	3378,9	3050,8	328,1
	Средний	1792,9	1788,9	4,0
	Нижний	2380,8	2368,0	12,8

рых причалах в нижних горизонтах складывался очень высокий процент подвижных форм.

Мола Камышовой бухты (рис. 7.2) находится в практически чистом районе с хорошим водообменом.

В 1981 г. на южном моле биомасса макрофауны была наиболее высока в верхнем и среднем горизонтах (табл. 7.5). Основную долю макрозообентоса на моле Камышовой бухты составляли митилиды. С внешней стороны мола в верхнем горизонте III профиля отмечалось массовое развитие *Lepralia pallasiana* (985 г/м²), а у берега в верхнем горизонте - *Patella tarentina* (100,0 г/м²). С внутренней стороны высокое значение биомассы зарегистрировано в нижнем горизонте свободного

конца мола для двух видов - *Lepralia pallasiana* и *Balanus improvisus* - по 80,0 г/м². Остальные виды были представлены незначительно.

Всего на южном моле обнаружено 14 видов макрозообентоса с внешней стороны и 8 видов - с внутренней (табл. 7.6). Помимо митилид наибольшее распространение имели мшанки (*Lepralia pallasiana*), nereиды и баянусы. С внешней стороны мола во многих пробах были найдены гидроиды.

В 1987 г. молах Камышовой бухты биомасса макрофауны значительно возросла (см. табл. 7.5). В отличие от 1981 г. наибольшие значения биомассы отмечались в нижнем горизонте обоих молв. Общая биомасса макрофауны на южном моле была в 2-5 раз выше, чем на северном.

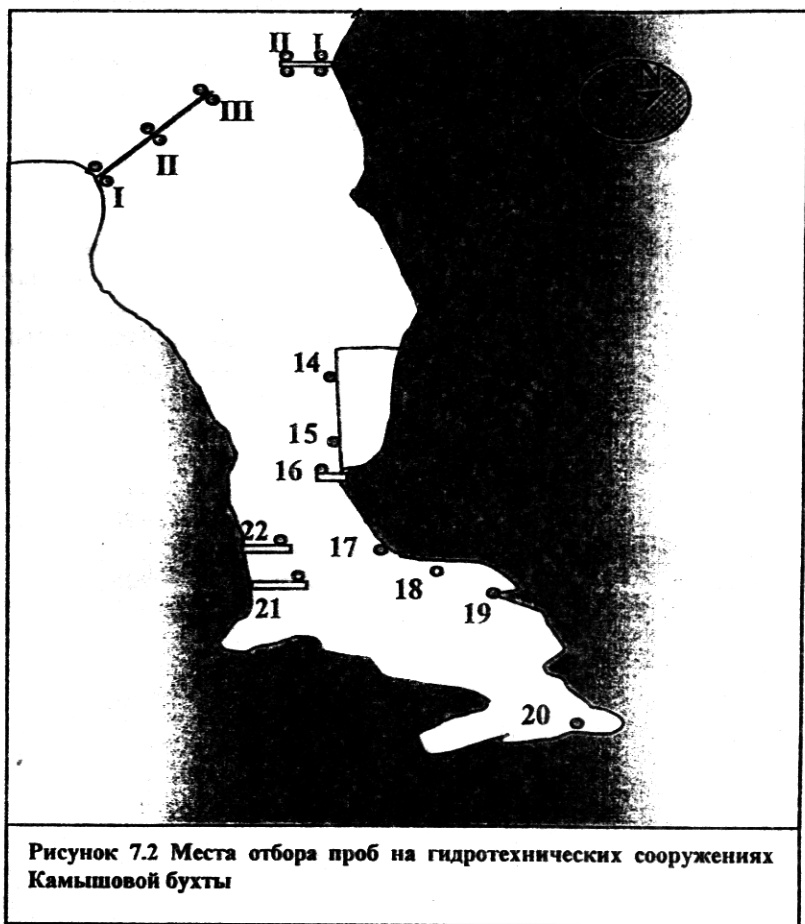


Таблица 7.5 Биомасса (средняя, г/м²) макрозообентоса на молах б. Камышовой

Горизонты	Внешняя сторона			Внутренняя сторона		
	1981 г.	1987 г.	1992 г.	1981 г.	1987 г.	1992 г.
Южный мол						
Верхний	2631,6	7593,7	20703,1	5860,5	7365,5	10750,8
Средний	3144,6	17265,1	3439,7	1648,6	9614,0	12835,0
Нижний	1548,9	24858,8	-	849,0	16979,5	-
Северный мол						
Верхний	-	1566,8	155,2	-	1890,4	5308,7
Средний	-	3111,2	1654,7	-	1568,6	4388,6
Нижний	-	4678,0	-	-	3459,0	-

Таблица 7.6 Видовой состав и встречаемость (%) макрофауны на южном молу Камышовых бухты

Вид, группа	Внешняя сторона			Внутренняя сторона		
	1981	1987	1992	1981	1987	1992
Hydrozoa	66	-	-	-	-	-
Porifera	11	-	-	25	-	17
<i>Lepralia pallasiana</i>	44	100	17	38	75	83
Nemertini	-	-	-	-	-	17
Platodes	-	-	17	-	-	17
Aphroditidae	-	-	-	-	-	17
Capitellidae	-	-	-	-	-	17
Nereidae	44	88	83	50	75	100
<i>Phylodoce</i> sp.	-	-	33	-	-	17
<i>Staurocephalus rubrovittatus</i>	-	-	-	-	-	33
Syllidae	-	-	17	-	-	33
<i>Acantochitona fascicularis</i>	-	-	17	25	-	17
<i>Lepidochitona cinerea</i>	-	25	-	13	13	-
<i>Bittium reticulatum</i>	11	25	-	-	88	17
<i>Patella tarentina</i>	11	-	-	-	-	-
<i>Rissoa splendida</i>	11	13	17	-	25	33
<i>Tricolia pulla</i>	11	13	17	-	13	-
Chironomidae	-	-	-	-	-	17
Pantopoda	-	-	17	-	-	67
<i>Balanus improvisus</i>	56	100	-	25	100	-
<i>Brachynotus sexdentatus</i>	11	-	-	-	-	-
<i>Pilumnus hirtellus</i>	11	-	-	13	-	17
<i>Pisidia longimana</i>	-	-	33	-	-	67
Reptantia	-	100	-	-	75	-
Natantia	-	38	-	-	-	-
Caprellidae	-	-	-	-	-	17
Gammaridea	11	13	50	-	13	83
<i>Idotea baltica bastery</i>	-	-	17	-	-	-
<i>Naesa bidentata</i>	-	-	-	-	-	33
<i>Leptochelia savignii</i>	-	-	33	-	-	33
<i>Tanais cavolini</i>	-	-	33	-	-	50
<i>Mytilaster lineatus</i>	56	-	100	-	-	100
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	100	100	100	-	100	100
<i>Ostrea edulis</i>	-	25	-	-	25	-
<i>Ascidella aspersa</i>	-	25	-	13	13	-
<i>Botrylus schlosseri</i>	-	-	-	-	-	17
Количество видов	14	13	16	8	12	25

Наибольшее распространение имели мидии, баянусы, мшанки, на большинстве станций встречались nereidy и крабы. Мидии и митилистры составляли 96-98 % от общей биомассы. На южном моле с внутренней стороны сосредоточена биомасса баянусов (до 320 г/м²), которая возрастала с увеличением глубины, и мшанок (до 495 г/м²). Биомасса мшанок была максимальной в поверхностном и среднем горизонтах, а в донных горизонтах внутренней стороны южного мола они отсутствовали. Также отмечалась высокая численность *Bittium reticulatum* (22 – 1078 экз./м²) и зарослевых моллюсков риссой (до 275 экз./м²). Достаточно высокой, особенно с внешней стороны молов, была численность полихет (до 352 экз./м²) и крабов (154 экз./м²). Самым большим видовым разнообразием отличался средний и нижний горизонт профиля II внешней стороны, там же отмечена и значительная биомасса макрозообентоса – 452,6 г/м² и 220,9 г/м², соответственно.

На построенном позднее северном моле биомасса бентоса была значительно ниже. Видовой состав беднее – обнаружено всего 11 видов, большинство из которых встречалось в 1 – 2 пробах (табл. 7.7). Относительно высокое видовое разнообразие было отмечено в нижнем горизонте профиля II с внутренней стороны (6 видов).

В 1992 г. максимальные значения биомассы отмечались в поверхностном горизонте на свободном конце мола с внутренней и внешней стороны - 21425,91 и 61944,19 г/м² соответственно. На долю мидий и митилистр приходилось более 96 % биомассы во всех пробах. Видовой состав стал значительно разнообразнее (см. табл. 7.5) в основном за счет большего количества видов полихет и ракообразных на внутренней стороне мола. При этом значительно реже встречались мшанки и биттиум. На свободном конце мола с внешней стороны мола была отмечена высокая численность (1-3 тыс. экз./м²) бокоплавов и клешеносных осликов.

На северном моле средние значения биомассы макрофауны оставались такого же порядка, как и 1987 г. (см. табл. 7.5), при этом с внутренней стороны биомасса была выше, чем с внешней. Более 94 % биомассы приходилось на долю митилид. Видовой состав был значительно богаче, чем в 1987 г. (см. табл. 7.7). На большинстве станций как с внутренней, так и с внешней стороны наблюдалась высокая численность бокоплавов и клешеносных осликов (до 3 тыс. экз./м²) и nereid (до 1900 экз./м²).

Причалы Камышовой бухты. В 1981 г. в составе макрофауны обнаружен 21 вид (табл. 7.8). Наибольшее распространение имели мидии, митилистры, баянусы и мшанки, более чем на половине станций встречались nereidy и губки. В трех пробах найдены устрицы, с биомассой 280 – 890 г/м².

Общая биомасса макрозообентоса на причалах Камышовой бухты была выше, чем на молах: от 13,5 до 1612,7 г/м², средняя 382,3 г/м² (табл. 7.9). На большинстве причалов в среднем горизонте регистрировалась более вы-

Таблица 7.7 Видовой состав и встречаемость (%) макрофауны на северном молу Камышовой бухты

Вид, группа	Внешняя сторона		Внутренняя сторона	
	1987 г.	1992 г.	1987 г.	1992 г.
<i>Lepralia pallasiana</i>	20	33	60	67
Platodes	-	-	-	33
Nereidae	40	67	40	100
Phylodoce sp.	-	33	-	67
Syllidae	-	67	-	67
Chironomidae	-	33	-	67
Pantopoda	-	-	-	33
<i>Balanus improvisus</i>	80	-	60	33
Caprellidae	-	100	-	67
Gammaridea	20	100	20	67
<i>Gnathia oxyure</i>	-	33	-	-
<i>Idotea baltica bastery</i>	-	33	20	67
<i>Naesa bidentata</i>	-	100	-	67
<i>Leptochelia savignii</i>	-	100	-	67
<i>Tanais cavolini</i>	-	33	-	67
<i>Pilumnus hirtellus</i>	-	-	-	67
<i>Pisidia longimana</i>	-	33	-	67
Reptantia	-	-	40	-
Natantia	-	-	20	-
<i>Acantochitona fascicularis</i>	-	33	-	-
<i>Bittium reticulatum</i>	-	-	40	-
<i>Cerithiopsis tuberculatus</i>	-	67	-	-
<i>Rissoa splendida</i>	40	-	20	33
<i>Mytilaster lineatus</i>	80	100	80	100
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	80	100	80	100
Количество видов	7	17	11	19

Таблица 7.8 Видовой состав и встречаемость (%) макрофауны на причалах Камышовой бухты

Вид, группа	1981 г.	1992 г.
Porifera	50	-
<i>Bougainvillea megas</i>	4	-
<i>Lepralia pallasiana</i>	71	56
<i>Scrupocellaria bertholletii</i>	-	11
Platodes	-	11
Aphroditidae	8	-
Nereidae	54	67
Serpulidae	-	11
Syllidae	-	22
<i>Lysidice ninetta</i>	33	22
<i>Phylodoce sp.</i>	4	33
<i>Staurocephalus rubrovittatus</i>	4	-
<i>Cerithiopsis tuberculatus</i>	-	11
<i>Petricola lithophaga</i>	4	-
<i>Rissoa membranacia</i>	-	11
<i>Triria reticulata</i>	13	-
Chironomidae	-	11
Pantopoda	-	33
<i>Balanus improvisus</i>	83	-
Gammaridea	8	44
<i>Idotea baltica bastery</i>	-	11
<i>Naesa bidentata</i>	-	11
<i>Synisoma capito</i>	-	11
<i>Leptochelia savignii</i>	-	11
<i>Tanaïs cavolini</i>	-	44
<i>Pilumnus hirtellus</i>	13	22
<i>Eriphia verrucosa</i>	4	-
<i>Pisidia longimana</i>	-	22
<i>Rithropanopeus harrisi tridentata</i>	4	-
<i>Mytilaster lineatus</i>	83	78
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	100	100
<i>Ostrea edulis</i>	8	-
<i>Botrylus schlosseri</i>	29	11
<i>Molgula euprocta</i>	21	-
Количество видов	20	23

сокая биомасса, чем в других горизонтах. Наиболее низкой средней биомассой характеризовались причалы 17 (177,1 г/м²) и 21 (155,5 г/м²), максимальной - причал 20 (754,5 г/м²).

В 1992 г. общая биомасса макрофауны на причалах Камышовой бухты возросла в среднем на порядок и более, но значительно снизилась биомасса подвижных форм (см. табл. 7.9). На всех станциях доминировали митилиды (более 95 % от общей биомассы). Среди прочих видов на причалах в центральной части бухты (15-18) отмечали высокую биомассу мшанок (до 341 г/м²). Здесь была значительная численность бокоплавов, нерид и клешне-носных осликов (*Tanaïs cavolini*) – до 2 тыс. экз./м² и более.

Количество отмеченных видов существенно не изменилось, но изменился состав макрофауны (см. табл. 7.8). В числе видов, ранее имевших широкое распространение не отмечены губки и баянусы. Большинство видов, не отмеченных в 1981 г. в 1992 г., встречались лишь на одной-двух станциях.

Таблица 7.9 Биомасса и соотношение групп макрозообентоса на причалах Камышовой бухты, 1981 г.

Год	Горизонт	Биомасса, г/м ²		
		общая	обrost	подвижные формы
1981	Верхний	229,14	220,37	8,77
	Средний	667,68	373,99	36,42
	Нижний	296,54	251,72	44,82
1992	Верхний	7966,34	7961,41	4,93
	Средний	8001,51	7999,05	2,46

7.2 Митилиды молов и причалов. В 1980 г. оба мола Севастопольской бухты повсеместно были заселены мидиями и митилиястрами (табл. 7.10 и табл. 7.11, соответственно).

Митилиды образовали в среднем горизонте южного мола полосы шириной до 0,5 м, а на камнях встречались отдельными экземплярами или большими друзами, насчитывающими от 10 до 73 экз. Длина створок моллю-

Таблица 7.10 Биомасса (средняя, г/м²) мидий на молах б. Севастопольская

Горизонты	Внешняя сторона			Внутренняя сторона		
	1980 г.	1987 г.	1992 г.	1980 г.	1987 г.	1992 г.
Южный мол						
Верхний	-	4125,00	10797,25	-	11992,50	10676,88
Средний	49,02	1500,00	12718,31	100,00	-	20311,97
Нижний	-	-	-	-	50,00	-
Северный мол						
Верхний	-	11205,00	277,17	64,90	850,00	8,4875
Средний	-	10300,00	311,19	-	10000,00	-
Нижний	-	3100,00	-	0,23	-	-

Таблица 7.11 Биомасса митилястров (средняя, г/м²) на молах б. Севастопольская

Горизонты	Внешняя сторона			Внутренняя сторона		
	1980 г.	1987 г.	1992 г.	1980 г.	1987 г.	1992 г.
Южный мол						
Верхний	1,20	138,00	512,53	25,45	10,50	149,25
Средний	74,52	17,70	545,89	252,00	84,80	219,22
Нижний	29,63	-	-	0,18	53,30	-
Северный мол						
Верхний	-	65,00	1270,2	-	20,00	8725,1
Средний	0,25	50,00	5609,6	-	25,00	-
Нижний	207,5	2,50	-	-	248,50	-

сков в среднем была 67 мм, доминировали особи 40 – 60 мм. На северном молу у самой поверхности воды встречались мидии длиной до 28 мм, преобладали экземпляры менее 10 мм.

В 1987 г. на южном молу биомасса мидий была выше с внутренней стороны, чем с внешней (см. табл. 7.10). Рост ее наблюдался в верхнем горизонте обеих сторон от профиля I к свободному концу мола. Не отмечены мидии в нижнем горизонте с внешней стороны и в среднем – с внутренней стороны.

На северном молу биомасса также увеличивалась к концу мола, достигая максимума в поверхностном горизонте внешней стороны. На этом профиле мидии были отмечены во всех трех горизонтах.

В распределении поселений митилястров на молах Севастопольской бухты в 1987 г. отмечена тенденция снижения биомассы от верхнего горизонта к нижнему на внешней стороне, и обратная тенденция – на внутренней стороне (см. табл. 7.11).

В 1992 г. было отмечено значительное (в десятки раз) увеличение биомассы мидий в верхнем и среднем горизонте на южном молу и снижение – на северном. В то же время биомасса митилястра в 1992 г. на северном молу была 1-2 порядка выше, чем в 1987 г. Максимальная биомасса мидий была зарегистрирована на внутренней стороне южного мола - 25322,45 г/м². В составе поселений митилид на молах была очень велика доля молодежи (табл. 7.13). Среди других возрастных групп более половины составляли моллюски с длиной раковины

Таблица 7.12 Биомасса и численность митилид на причалах Севастопольской бухты в 1980 г.

Год	Мидии		Митилястры	
	г/м ²	экз./м ²	г/м ²	экз./м ²
1980	6397,0	3240	9,0	48
1992	28605,8	6821	142,3	4755

30-50 мм для мидий и 14-20 мм для митилястра. Максимальные размеры для мидий составляли 80 мм,

Таблица 7.13 Доля митилид минимальных размеров в общей численности (%) в 1992 г.

Район	Мидии (<10 мм)		Митилястры (<5 мм)	
	горизонты			
	Верхний	Средний	Верхний	Средний
Севастопольская бухта				
Молю	52,10	39,12	70,25	70,47
Причалы	39,92	-	89,41	-
Камышовая бухта				
Молю	85,64	70,45	91,32	84,28
Причалы	67,09	71,15	98,16	95,56

для митилястра – 22 мм.

На причалах Севастопольской бухты в 1980 г. митилиды составляли в среднем 74,8 % общей биомассы макрозообентоса, при этом биомасса и численность мидий были значительно выше, чем у митилястра (см. табл. 7.12). Преобладали мидии длиной до 20 мм (рис. 7.3). Вертикальное распределение характеризовалось снижением плотности поселений с глубиной и увеличением размеров и, следовательно, индивидуальной массы мидий в нижних горизонтах.

Митилястры встречались в небольшом количестве, преобладали экземпляры размером до 14 мм (рис. 7.4). В вертикальном распределении отмечался незначительный рост биомассы от верхнего горизонта к нижнему.

В 1992 г. было отмечено увеличение биомассы митилид на причалах Севастопольской бухты (см. табл. 7.12). Максимальная биомасса мидий составила 50300 г/м² (причал 13, рис 7.1), митилястра – 539,5 г/м² (причал 3). В составе поселений преобладали особи младших возрастных групп (см. табл. 7.13). Максимальные размеры мидий составили 90 мм, митилястра – 24 мм.

На южном молу Камышовой бухты в 1981 г. в верхнем и среднем горизонтах биомасса мидий была выше, чем в нижнем (табл. 7.14). Средняя численность митилид с внешней стороны составила 953 экз./м², биомасса – 2314 г/м²; с внутренней стороны – 954 экз./м², биомасса – 2894 г/м². Численность мидий с внутренней стороны была выше, чем митилястров – 60 % от общей численности митилид, а с внешней стороны ниже – 10,7 %. По биомассе мидии доминировали как с внешней, так и с внутренней стороны – 91,1 % и 97,7 %, соответственно.

Закономерность вертикального распределения митилястров иная, чем мидий. Их биомасса в верхнем горизонте была минимальной, возрастая с глубиной. Увеличивается к нижнему горизонту и численность. Однако, в связи со значительным варьированием отдельных значений численности и биомассы моллюсков, различия между средними показателями отдельных горизонтов в большинстве случаев статистически не значимы.

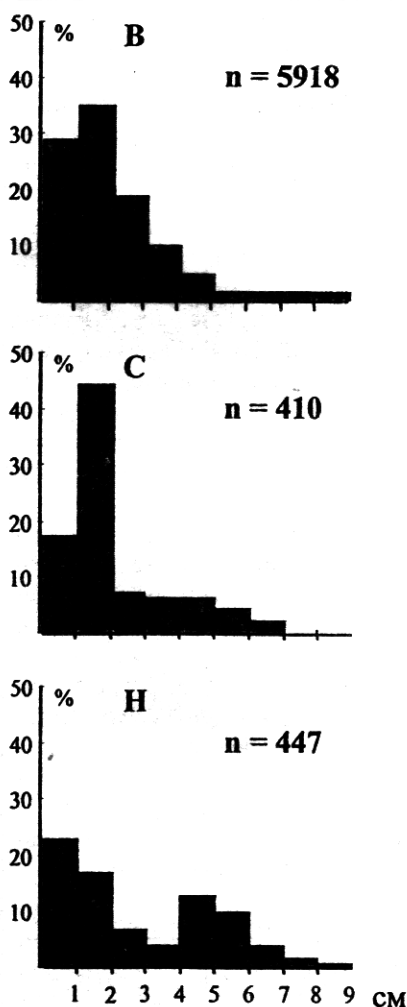


Рисунок 7.3 Размерный состав мидий на причалах Севастопольской бухты (1980 г.)

Примечание: здесь и на рис. 7.4 – 7.8: В – верхний, С – средний, Н – нижний горизонты, n – количество экземпляров

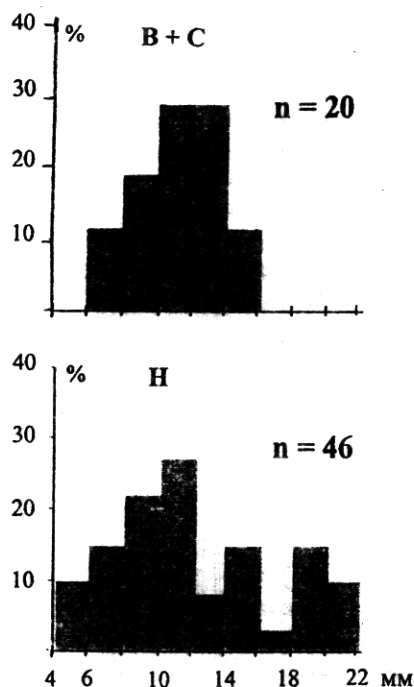


Рисунок 7.4 Размерный состав митилястров на причалах Севастопольской бухты (1980 г.)

В составе поселений митилид встречалось большое количество моллюсков младших возрастных групп, особенно в верхнем горизонте (рис. 7.5, 7.6). Отмеченные особенности в распределении мидий могут быть связаны с воздействием прибоа.

В 1987 г. высокая численность мидий на южном молу наблюдалась в верхних горизонтах II профиля с внешней стороны – 1639 экз./м², и III профиля с внутренней стороны – 1155 экз./м². Максимальная биомасса – с внешней стороны в среднем горизонте на свободном конце мола (18820 г/м²). У берега биомасса мидий была в целом ниже. На северном молу биомасса мидий была ниже (см. табл. 7.14). Биомасса митилий снижалась в глубинной - в среднем, с 45 до 8 г/м².

В 1992 г. биомасса митилид была наиболее высока в верхнем горизонте с внешней стороны южного мола (до 61936,7 г/м²). На северном молу биомасса митилид, напротив, была более высокой с внутренней стороны (см. табл. 7.14). На северном молу и на южном молу с внутренней стороны преобладали мидии (70-99 % от суммарной биомассы), а на внешней стороне южного мола доля митилий достигала 70 %. В составе поселений преобладала молодь (см. табл. 7.13).

На причалах Камышовой бухты в 1981 г. мидии распространялись до дна. Средняя биомасса (6,9 кг/м²) была выше при более низкой численности (312 экз./м²), чем в Севастопольской бухте (табл. 7.15), из-за больших размеров моллюсков (рис. 7.7). Многочисленность мидий отмечена на причалах 19, 20 и 15 – в порядке убывания. Наиболее высокая биомасса этих моллюсков зарегистрирована на причалах 19, 22 и 16 (см. рис 7.2). Средние размеры мидий увеличивались с глубиной. Размерное распределение мидий соответствовало нормальному, с некоторой асимметрией в сторону больших размеров. С внешней стороны в поверхностном горизонте отмечался второй пик, обусловленный присутствием молоди, и отсутствие промежуточных размеров.

Средняя биомасса которых составляла 197,0 г/м², что в 19,3 раза больше, чем в Севастопольской бухте. Размеры их также были больше (рис. 7.8).

Таблица 7.14 Биомасса и численность митилид на молу Камышовой бухты

Горизонты	Внешняя сторона			Внутренняя сторона		
	1980 г.	1987 г.	1992 г.	1980 г.	1987 г.	1992 г.
Южный мол						
Верхний	2631,6	7420,0	20699,3	5860,5	7186,7	10741,4
Средний	3144,6	16625,0	3430,2	1648,6	9470,0	12827,8
Нижний	1548,9	6703,3	-	849,0	10930,0	-
Северный мол						
Верхний	-	1465,0	155,1	-	1780,0	5252,9
Средний	-	3100,0	1641,5	-	1530,0	4356,9
Нижний	-	1720,0	-	-	1945,0	-

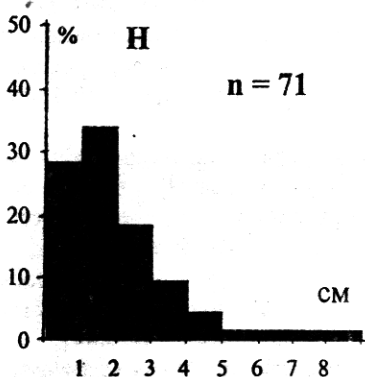
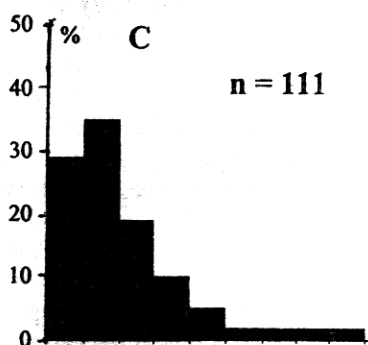
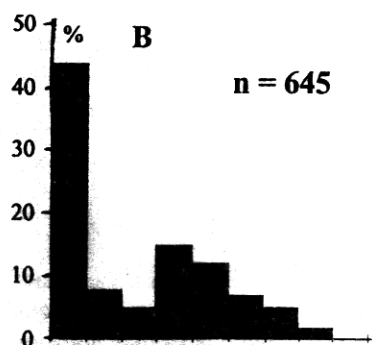


Рисунок 7.5 Размерный состав мидий на молу Камышовой бухты (1981 г.)

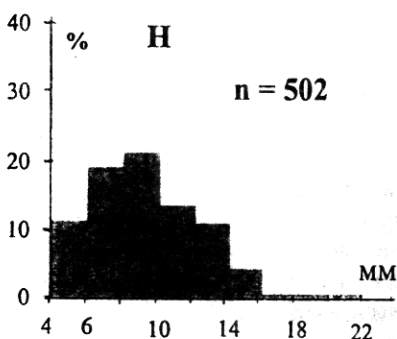
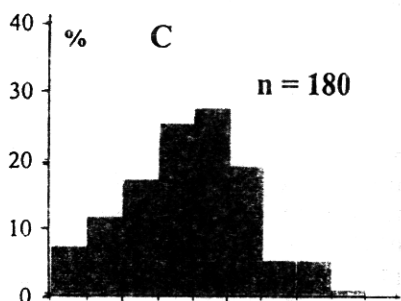
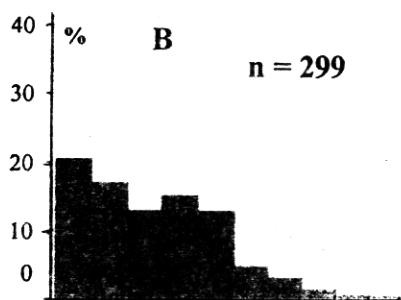


Рисунок 7.6 Размерный состав митилястров на молу Камышовой бухты (1981 г.)

Таблица 7.15 Биомасса и численность митилид на причалах Камышовой бухты

Год	Горизонт	Мидии		Митилиастры	
		г/м ²	экз./м ²	г/м ²	экз./м ²
1981	Верхний	7484	445	69	186
	Средний	10051	331	363	1116
	Нижний	3351	162	159	759
1992	Верхний	7453	1804	499	10966
	Средний	6032	1075	1678	15583

В 1992 г. биомасса мидий на причалах существенно не изменилась, а биомасса митилиастры значительно возросла. Также увеличилась и численность митилид, в основном за счет младших возрастных групп, которые доминировали в составе мидийных поселений б. Камышовой (см. табл. 7.13). Максимальные размеры мидий не превышали 80 мм, а митилиастры – 24 мм.

Расчет объема биофильтра. На основе полученных данных о численности и размерном составе мидий и митилиастров был сделан расчет объема воды, профильтрованной ими в акваториях бухт [39]. Используя известные средние величины фильтрации мидиями разных размерных групп, и приняв скорость фильтрации митилиастров равной таковой для мидий соответствующих размеров, определили объем воды, фильтруемой на 1 м² поверхности, занятой моллюсками: в Севастопольской бухте это 30771 л/сут., в Камышовой 2268 л/сут. на причалах и 12506 л/сут. на молу. Исходя из протяженности причалов и глубины распространения митилид, были определены примерные площади, занятые биоценозом мидий в бухтах, а затем и объем биофильтра: 1232 тыс.м²/сут. в бухте Севастопольской и 679 тыс. м²/сут. в б. Камышовой. Разделив объем биофильтра на объем воды, получили, что в Севастопольской бухте моллюски, обитающие на гидротехнических сооружениях, профильтровывают за сутки 0,01 всего объема воды, а в Камышовой бухте – 0,3 объема [39].

Фильтруя и очищая воду от взвеси, моллюски-фильтраторы не только повышают качество воды, но и ускоряют осаждение частиц. Для расчета объема изъятой моллюсками взвеси была принята величина содержания взвеси в морской воде 3 мг/л. Исходя из данных об объеме биофильтра в бухтах, количество взвеси в этих объемах равно 3696 и 1730 кг в сутки. Если моллюски усваивают 59 % пищи, то ими изымается, соответственно, 2181 и 1021 кг взвеси, а выбрасывается 1515 и 709 кг.

Таким образом, комплекс животных, населяющий гидротехнические сооружения, в видовом отношении и по количественным характеристикам близок к таковому природных субстратов бухт и открытых частей побережья

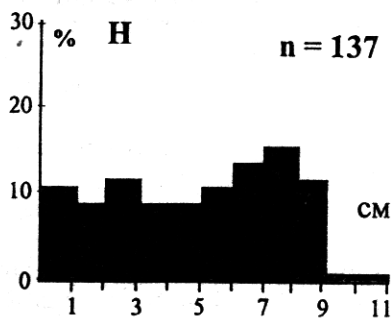
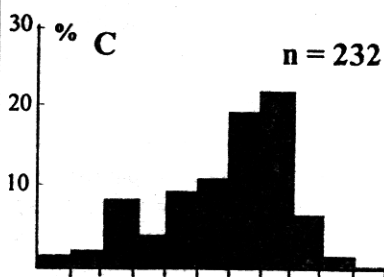
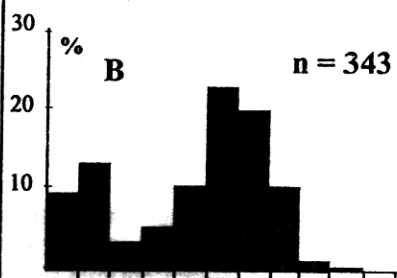


Рисунок 7.7 Размерный состав мидий на причалах в Камышовой бухте в 1981 г.

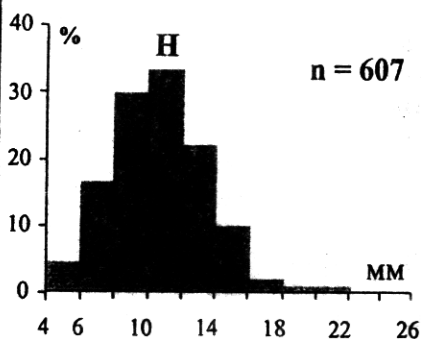
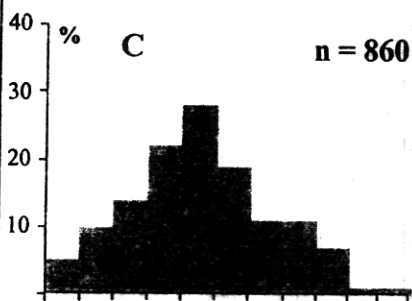
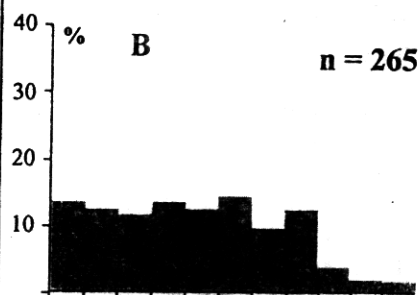


Рисунок 7.8 Размерный состав митилястров на причалах в Камышовой бухте в 1981 г.

Кавказа и Крыма [38]. При этом величины биомассы макрозоообрастателей гидротехнических сооружений зачастую выше указанных для природных субстратов.

Обрастания бухт по качественному составу и по общей биомассе имеют между собой больше сходства, чем с молами. Общая масса обрастаний в бухтах выше, чем на открытых действии прибоя молах. В более загрязненной Севастопольской бухте средняя биомасса обрастаний ниже таковой в Камышовой бухте; здесь много прикрепленных форм, но мидии и митилястры составляют меньшую долю, тогда как в Камышовой бухте митилиды доминируют в обрастаниях.

Поселения мидий на причалах Севастопольской бухты обычно не доходят до дна на 1 – 3 м; на причалах и молу Камышовой бухты они покрывают всю подводную часть сооружений, вплоть до глубины 13 м. Такая особенность, возможно, связана с вторичным загрязнением придонного слоя воды в Севастопольской бухте от взмучивания донных осадков, которые содержат в среднем на порядок выше углеводов, чем донные осадки б. Камышовой [45].

7.3 Макрофитообрастания молов. В 1980 г. в составе растительных обрастаний молов было отмечено 15 видов водорослей, в том числе 5 видов зеленых, 3 – бурых и 7 – красных (табл. 7.16). Преобладали зеленые водоросли, биомасса которых в среднем была $773,9 \text{ г/м}^2$, это 75,9 % от общей средней биомассы водорослей, равной $1019,6 \text{ г/м}^2$.

Камни поверхностного горизонта как с внешней, так и с внутренней стороны обросли преимущественно зелеными водорослями рода *Enteromorpha* – *E. linza* и *E. intestinalis*. С внутренней стороны южного мола также был отмечен обильный рост красной водоросли *Ceramium rubrum*, а с внешней стороны северного мола – *Callithamnion corymbosum*.

В среднем горизонте на южном молу основную биомассу составила *Ulva rigida*, на северном молу – *Enteromorpha intestinalis*.

В нижних горизонтах южного мола с внешней стороны преобладала *Cystoseira barbata*, а с внутренней – *Ulva rigida*.

Распределение водорослей вдоль молов обусловлено не только продолжительностью существования соответствующей части мола, но и действием таких факторов, как степень прибойности и загрязнение (табл. 7.17).

Так, профиль I с внешней стороны южного мола находился в зоне выброса аварийного канализационного стока. Из четырех взятых на данном профиле проб в трех случаях обнаружены лишённые макрофитов камни, и лишь в верхнем горизонте была отмечена *E. intestinalis*. По мере удаления от стока на профилях II и III биомасса водорослей возрастала, снижаясь на профиле IV, подверженном действию волн и наиболее «молодом» по времени

Таблица 7.16 Биомасса (средняя, г/м²) макрофитообрастаний на молах б. Севастопольской в 1980 г.

Виды	Южный			Северный	
	В	С	Н	В	С
	внешняя сторона				
<i>Enteromorpha linza</i>	448,5	-	-	83,5	-
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	463,4	24,0	-	-	2604,0
<i>Ulva rigida</i>	64,2	71,2	151,5	952,8	23,5
<i>Bryopsis plumosa</i>	-	4,0	-	-	-
<i>Zanardinia prototypus</i>	-	9,3	24,0	-	-
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	-	16,3	-	-	-
<i>Cystoseira barbata</i>	-	9,3	194,8	21,0	-
<i>Grateloupia dichotoma</i>	-	9,0	-	-	-
<i>Phyllophora nervosa</i>	-	-	7,0	-	-
<i>Ceramium diaphanum</i>	-	4,0	-	-	-
<i>Callithamnion corymbosum</i>	-	-	-	664,0	-
Всего	1014,0	142,5	386,9	1711,3	2627,5
внутренняя сторона					
<i>Enteromorpha linza</i>	686,3	-	-	-	-
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	248,9	-	40,5	1042,0	-
<i>Ulva rigida</i>	29,9	181,1	431,3	150,0	-
<i>Acrosiphonia centralis</i>	-	4,5	-	-	-
<i>Bryopsis plumosa</i>	-	41,7	-	-	-
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	133,3	-	-	-	-
<i>Cystoseira barbata</i>	-	84,0	144,9	-	-
<i>Gelidium latifolium</i>	-	75,5	-	-	-
<i>Grateloupia dichotoma</i>	3,7	33,5	-	-	-
<i>Ceramium strictum</i>	-	-	-	-	116,0
<i>Ceramium rubrum</i>	296,7	-	-	-	-
Всего	1398,6	418,2	1207,2	1192,0	116,0

Таблица 7.17 Распределение биомассы (г/м²) водорослей на молах б. Севастопольской в 1980 г. по профилям

Сторона мола	Южный мол				Северный мол	
	I	II	III	IV	I	II
внешняя	183,5	1298,0	2242,5	6155,0	2514,0	2872,0
внутренняя	959,5	1683,5	348,5	3839,5	798,5	80,5

постройки. Максимальная биомасса и наибольшее разнообразие видов наблюдались на профиле III, - этот участок мола был построен за 1 - 1,5 года до наблюдений

Примерно в такие сроки, как отмечала А. А. Калугина-Гутник [21], в экспериментах по восстановлению фитоценозов, протекает период становления фитоценозов, характеризующийся мозаичностью и неустойчивостью его структуры.

С внутренней стороны южного мола средняя биомасса водорослей на I и II профилях была выше, чем на III профиле (см. табл. 7.17), а максимальная биомасса наблюдалась на IV профиле.

Северный мол как с внешней, так и внутренней стороны характеризовался, в основном, преобладанием энтероморфы и ульвы, и меньшим видовым разнообразием, чем южный мол. В среднем биомасса водорослей с внешней стороны северного мола значительно выше, чем с внутренней (см. табл. 7.16, 7.17). Подобное распределение наблюдали ранее [21].

Таким образом, на молах уже в первые годы их существования сформировались фитоценозы, похожие на природные [47], но имеющие ряд специфических особенностей, обусловленных периодом их становления.

В составе растительного сообщества молов Севастопольской бухты в 1987 г. отмечено 10 видов водорослей: 2 вида зеленых, 6 красных и 2 бурых (таб. 7.18). На южном молу встречены только 4 вида водорослей. Доминировала по биомассе, как с внешней, так и с внутренней стороны, *Ulva rigida*. С внутренней стороны на всех горизонтах встречалась кладофора. С внешней стороны профиля I макрофиты не обнаружены. Максимальная биомасса была зарегистрирована на профиле II (табл. 7.19), она снижалась к свободному концу мола. С внутренней стороны средняя биомасса минимальная на III профиле, а максимальная - на I и IV профилях.

Северный мол б. Севастопольской более богат водорослями, чем южный мол - как по видовому разнообразию (11 видов), так и по биомассе (см. табл. 7.18). Доминировала, в основном, *Ulva rigida*, высокой была биомасса цистозиры. *Callithamnion corymbosum*, являясь зимней формой, отмечался в средних и придонных горизонтах. В целом, как и в 1980 г., видовое богатство отличало внешнюю сторону мола и особенно средний горизонт, на котором обитало 8 видов из 11. Анализ распределения биомассы по профилям (см. табл. 7.19) показал, что прибрежный конец мола характеризовался, особенно с внутренней стороны, максимальными значениями.

В 1992 г. на молах Севастопольской бухты обнаружили 17 видов макрофитов: 5 зеленых, 11 - красных, 1 - бурых (табл. 7.20). Пробы отбирали на верхнем и среднем горизонтах, на глубине не более 3 м [73].

Таблица 7.18 Биомасса (средняя, г/м²) макрофитообрастаний на молах б. Севастопольской в 1987 г.

Виды	Южный			Северный		
	В	С	Н	В	С	Н
внешняя сторона						
<i>Ulva rigida</i>	212,6	142,0	-	727,0	584,0	187,0
<i>Cystoseira barbata</i>	-	-	-	224,0	-	-
<i>Cladostephus verticillatus</i>	-	-	-	-	62,0	-
<i>Grateloupia dichotoma</i>	73,3	-	50,0	1,0	2,0	-
<i>Apoglossum ruscifolium</i>	-	-	-	16,5	23,0	11,0
<i>Callithamnion corymbosum</i>	-	-	-	-	18,0	44,0
<i>Gelidium latifolium</i>	-	-	-	4,5	4,5	-
<i>Polysiphonia subulifera</i>	-	-	-	-	25,0	-
<i>Polysiphonia elongata</i>	-	-	-	-	9,5	-
Всего	285,9	142,0	50,0	973,0	728,0	242,0
внутренняя сторона						
<i>Ulva rigida</i>	543,6	434,8	185,8	2	403,5	16,0
<i>Cladophora sp.</i>	143,0	6,0	16,5	250,0	102,0	-
<i>Cystoseira barbata</i>	-	6,5	-	1950,0	-	-
<i>Callithamnion corymbosum</i>	-	-	-	-	100,0	143,0
<i>Polysiphonia subulifera</i>	-	-	-	35,0	-	-
Всего	686,6	447,3	202,3	2237,0	605,5	159,0

Таблица 7.19 Распределение биомассы (г/м²) водорослей на молах б. Севастопольской в 1987 г. по профилям

Сторона мола	Южный мол				Северный мол	
	I	II	III	IV	I	II
внешняя	-	835,0	551,0	53,0	2457,0	1197,5
внутренняя	2328,0	986,5	185,5	1159	4591	1263

На южном молу с внешней стороны встречено 11 видов водорослей, с преобладанием цистозиры, наблюдался обильный рост *Ulva rigida* и *Grateloupia dichotoma*, особенно в верхних горизонтах. Максимальная биомасса обнаружена на II профиле (табл. 7.21), минимальная – на I профиле. С внутренней стороны найдено 5 видов макрофитов. Доминировала *Ulva rigida*, составляя основную часть (99,6 %) от общей биомассы водорослей в верхнем горизонте и 100% - в среднем горизонте. Максимального развития с внутренней стороны макрофиты достигли на прибрежном профиле, минимального – в середине мола.

Таблица 7.20 Биомасса (средняя, г/м²) макрофитообрастаний на молах б. Севастопольской в 1992 г.

Виды	Южный мол		Северный мол	
	В	С	В	С
внешняя				
<i>Cladophora albida</i>	-	-	0,15	-
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	3,5	-	1,8	4,1
<i>Enteromorpha linza</i>	-	14,3	-	-
<i>Ulva rigida</i>	397,5	242,9	178,6	2,0
<i>Bryopsis plumosa</i>	13,8	-	-	-
<i>Antithamnion plumula</i>	0,8	-	75,0	-
<i>Callithamnion corymbosum</i>	15,6	4,7	22,2	14,3
<i>Ceramium diaphanum</i>	-	-	-	0,1
<i>Ceramium rubrum</i>	0,5	-	-	-
<i>Corallina officinalis</i>	9,5	-	-	-
<i>Gelidium latifolium</i>	11,9	-	42,9	-
<i>Apoglossum ruscifolium</i>	-	14,3	125,0	-
<i>Grateloupia dichotoma</i>	359,5	4,9	-	-
<i>Lomentaria clavellosa</i>	0,3	-	-	-
<i>Polysiphonia subulifera</i>	-	2,4	-	-
<i>Cystoseira barbata</i>	657,1	-	375,0	914,3
Всего	1470,0	283,5	820,7	934,8
внутренняя				
<i>Cladophora albida</i>	0,04	-	-	-
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	1,6	-	2,8	-
<i>Enteromorpha linza</i>	-	-	3,8	-
<i>Ulva rigida</i>	373,8	35,7	53,6	-
<i>Antithamnion plumula</i>	-	-	5,0	-
<i>Callithamnion corymbosum</i>	9,9	-	282,2	-
<i>Ceramium circinnatus</i>	-	-	0,5	-
<i>Lomentaria clavellosa</i>	0,17	-	-	-
<i>Cystoseira barbata</i>	-	-	32,2	-
Всего	385,5	35,7	376,3	-

Таблица 7.21 Распределение биомассы (г/м²) водорослей на молах б. Севастопольской в 1992 г. по профилям

Сторона мола	Южный мол			Северный мол	
	I	II	III	I	II
внешняя	330,2	2844,6	1519,8	774,6	1801,3
внутренняя	835,9	127,64	228,5	225,6	534,1

На северном молу с внешней стороны было обнаружено 8 видов водорослей, с преобладанием по биомассе цистозира и массовым представительством ульвы и красной водоросли *Apoglossum ruscifolium*. Максимальная общая биомасса зарегистрирована на свободном конце мола. С внутренней стороны обнаружено 7 видов макрофитов, по биомассе доминирует *Callithamnion corymbosum*, субдоминанты – ульва и цистозира. В отличие от предыдущих исследований, на внутренней, как и на внешней сторонах северного мола максимальная биомасса водорослей зарегистрирована на II профиле, а не на прибрежном.

Мол Камышовый бухты. В 1981 (табл. 7.22) на молу было обнаружено 13 видов водорослей: 8 красных, 4 бурых и 3 вида зеленых. Практически во всех пробах присутствовала и доминировала по биомассе цистозира.

С внешней стороны найдено 12 видов макрофитов. В верхнем горизонте доминировала бурая водоросль *Cladostephus verticillatus* (46,4%) от общей биомассы); субдоминанты - *Laurencia obtuse* и *Cystoseira barbata* (23,2 % и 21,7 %, соответственно). В среднем горизонте преобладала цистозира (60,1 %) с субдоминантой *C. verticillatus* (29,6 %), а в нижнем горизонте цистозира составляла 43,6 % от общей биомассы, кладостефус – 24,9 %. Максимальная биомасса была сосредоточена на профиле I, снижаясь к свободному концу мола в 3,3 раза (табл. 7.23).

С внутренней стороны мола макрофиты найдены только в верхнем и среднем горизонтах, причем в верхнем их средняя биомасса выше более чем в 8 раз. Всего встречено 10 видов. В верхнем горизонте доминировала цистозира (51,8 %), в среднем горизонте - кладостефус (51,9 %), биомасса их, соответственно, была равна 540,0 г/м² и 66,3 г/м². Распределение макрофитов по профилям (см. табл. 7.29) неодинаково – в середине мола биомасса была минимальная, повышаясь к конечным участкам.

В 1987 г. количество видов водорослей увеличилось до 17 (табл. 7.24): 4 вида зеленых, 3 вида бурых и 10 видов красных водорослей. Особенно много было полисапробных видов – кладофоры, ульвы и каллитамниона.

На южном молу обнаружено 15 видов водорослей: с внешней стороны – 12 видов, с внутренней – 11. В верхнем горизонте внешней стороны доминирующим видом была *Laurencia obtusa*, в среднем горизонте доля *L. obtuse* приблизилась к таковой доминирующего вида *Cladophora* (17,1 % и 20,0 %, соответственно). В нижнем горизонте преобладала кладофора (51,7 %) и достигла значительного развития цистозира (38,9 %). Максимальная биомасса, наблюдавшаяся в середине мола, снижалась к конечным участкам почти в 3 раза (табл. 7.25).

Таблица 7.22 Биомасса (средняя, г/м²) макрофитообрастаний на молю б. Камышовой в 1981 г.

Виды	Южный мол		
	В	С	Н
внешняя сторона			
<i>Cladophora albida</i>	1,0	48,7	205,7
<i>Ulva rigida</i>	1,0	11,7	68,7
<i>Codium tomentosum</i>	-	1,0	12,0
<i>Ceramium strictum</i>	-	-	11,0
<i>Ceramium ciliatum</i>	18,3	-	19,0
<i>Polysiphonia subulifera</i>	-	1,0	-
<i>Callitamnion corymbosum</i>	7,0	-	-
<i>Laurencia obtusa</i>	96,7	35,3	11,7
<i>Corallina officinalis</i>	5,3	2,7	9,7
<i>Nereia filiformis</i>	-	-	7,3
<i>Cystoseira barbata</i>	90,7	497,0	473,7
<i>Cladostephus verticillatus</i>	193,3	245,0	271,3
Всего	416,7	827,3	1086,7
внутренняя сторона			
<i>Cladophora albida</i>	80,7	31,0	-
<i>Ulva rigida</i>	101,7	-	-
<i>Ceramium ciliatum</i>	-	0,7	-
<i>Polysiphonia subulifera</i>	49,0	2,7	-
<i>Callitamnion corymbosum</i>	50,7	-	-
<i>Laurencia obtusa</i>	88,0	-	-
<i>Nereia filiformis</i>	-	13,0	-
<i>Cystoseira barbata</i>	540,0	14,0	-
<i>Cladostephus verticillatus</i>	130,0	66,3	-
<i>Dilophus spiralis</i>	3,3	-	-
Всего	1043,3	127,6	-

Таблица 7.23 Распределение биомассы (г/м²) водорослей на южном молю бухты Камышовой в 1981 г. по профилям

Сторона мола	Южный мол		
	I	II	III
внешняя	3859,0	2319,5	1156,0
внутренняя	1738,1	377,0	1398,0

Таблица 7.24 Биомасса (средняя, г/м²) макрофитообрастаний на молах б. Камышовой в 1987 г.

Виды	Южный			Северный		
	В	С	Н	В	С	Н
внешняя сторона						
<i>Laurencia obtusa</i>	96,7	65,7	-	-	-	-
<i>Polysiphonia elongata</i>	-	22,0	-	-	10,0	440,0
<i>Apoglossum ruscifolium</i>	-	29,3	-	-	-	-
<i>Gelidium latifolium</i>	-	2,3	-	-	-	-
<i>Cladophora sp.</i>	55,0	77,0	297,0	82,5	253	-
<i>Cystoseira barbata</i>	-	27,3	223,5	605,0	660,0	-
<i>Cladostephus verticillatus</i>	-	25,7	5,5	-	49,5	-
<i>Polysiphonia subulifera</i>	-	16,7	-	0,5	17,5	-
<i>Chondria tenuissima</i>	-	1,3	4,5	-	-	-
<i>Ulva rigida</i>	0,3	87,3	21,5	3,5	-	-
<i>Callithamnion corymbosum</i>	26,3	29,3	22,0	-	-	-
<i>Bryopsis sp.</i>	0,03	-	-	-	-	-
<i>Corallina mediterranea</i>	-	-	-	0,5	3,0	-
<i>Nereia filiformis</i>	-	-	-	-	0,5	-
<i>Laurencia coronopus</i>	-	-	-	60,5	211,0	-
Всего	178,4	384,0	574,0	752,5	1204,5	440,0
внутренняя сторона						
<i>Laurencia obtusa</i>	33,3	-	1	-	-	-
<i>Polysiphonia elongata</i>	-	22,0	-	-	99,0	-
<i>Apoglossum ruscifolium</i>	20,0	-	-	-	-	-
<i>Cladophora sp.</i>	223,3	275,0	236,5	132,0	104,5	66,0
<i>Cystoseira barbata</i>	165,0	33,0	-	-	1661,0	803,0
<i>Cladostephus verticillatus</i>	24,3	4,0	0,5	2,0	104,5	-
<i>Ulva rigida</i>	20,3	33,3	22,0	264,0	-	-
<i>Callithamnion corymbosum</i>	66,0	66,0	-	49,5	16,5	-
<i>Enteromorpha sp.</i>	2,3	-	-	14,0	-	-
<i>Nereia filiformis</i>	-	4,3	-	-	-	-
<i>Gracilaria verrucosa</i>	-	-	2,0	-	-	-
<i>Laurencia coronopus</i>	-	-	-	12,5	-	22
<i>Corallina mediterranea</i>	-	-	-	11	-	-
<i>Polysiphonia subulifera</i>	-	-	-	-	3,5	-
<i>Chondria tenuissima</i>	-	-	-	-	1	-
Всего	554,7	441	262	485	1990	891

Таблица 7.25 Распределение биомассы (г/м²) водорослей на молах б. Камышовой в 1987 г. по профилям

Сторона мола	Южный мол			Северный мол	
	I	II	III	I	II
внешняя	671,0	1619,0	545,0	1559,0	2759,0
внутренняя	1858,0	821,0	832,0	2490,0	3351,0

С внутренней стороны на всех горизонтах доминировала кладофора: 42,1 % - в верхнем, 62,4 % - в среднем, 90,1 % - в нижнем, причем биомасса ее практически не изменялась (см. табл. 7.24). Анализ изменений средней биомассы макрофитов по профилям показал, что максимальные значения характеризовали профиль I, в середине и на свободном конце южного мола биомасса снижена в 2,2 раза.

С внутренней стороны мола были найдены такие водоросли как *Polysiphonia elongata* и *Gracilaria verrucosa*, хотя эти водоросли достаточно требовательны к качеству воды. Зимняя форма *Callitamnion corymbosum* встречена не только в нижнем, но и в верхнем горизонте. Это связано, по-видимому, с тем, что отвесные стенки мола создают значительное затенение.

На примере южного мола видно, что при наличии хороших условий водообмена на гидротехнических сооружениях поселяются достаточно богатые фитоценозы, близкие по составу к каменистым природным субстратам.

На северном молу бухты Камышовой отмечено 12 видов водорослей, из них 3 - зеленые, 3 - бурые, и 6 видов - красные водоросли.

С внешней стороны мола найдено 9 видов водорослей. В верхнем и среднем горизонтах доминировала цистозира (80,4 % и 54,8 %, соответственно), в нижнем встречена только *Polysiphonia subulifera*. Биомасса макрофитов была выше почти в 2 раза на свободном конце мола (см. табл. 7.25).

С внутренней стороны обнаружено 11 видов макрофитов. В верхнем горизонте доминировала ульва (54,4 %), в среднем и нижнем - цистозира (86,9 % и 90,1 %, соответственно). Максимальная биомасса была сосредоточена в среднем горизонте. Распределение биомассы по профилям показано в табл. 7.25. Следует отметить, что биомасса макрофитов на северном молу была выше, чем на южном.

В 1992 году на молах Камышовой бухты было найдено 20 видов макрофитов (табл. 7.26), из них 5 видов - зеленые, 13 - красные и 2 - бурые [73].

Таблица 7.26 Биомасса (средняя, г/м²) макрофитообрастаний на молах б. Камышовой в 1992 г.

Виды	Южный мол		Северный мол	
	В	С	В	С
внешняя сторона				
<i>Cladophora albida</i>	-	-	96,4	-
<i>Cladophora laetevirens</i>	55,4	153,6	17,9	71,4
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	-	-	3,3	-
<i>Ulva rigida</i>	2,4	-	6,3	107,1
<i>Callithamnion corymbosum</i>	27,1	-	47,9	-
<i>Ceramium arborescens</i>	-	-	0,2	-
<i>Ceramium circinnatus</i>	17,0	124,0	-	0,5
<i>Ceramium rubrum</i>	82,2	-	3,9	-
<i>Ceramium diaphanum</i>	-	-	0,07	-
<i>Corallina officinalis</i>	-	-	5,9	-
<i>Gelidium latifolium</i>	10,7	24,5	30,7	-
<i>Laurencia coronopus</i>	623,2	78,6	196,5	21,4
<i>Apoglossum ruscifolium</i>	0,1	8,9	0,07	5,1
<i>Dasya pedicellata</i>	1,1	-	-	-
<i>Polysiphonia subulifera</i>	-	-	1,1	-
<i>Antithamnion plumula</i>	37,5	-	-	-
<i>Cladostephus verticillatus</i>	-	3,3	6,5	-
<i>Cystoseira barbata</i>	22,3	714,3	-	-
Всего	879,0	1107,2	416,5	205,5
внутренняя сторона				
<i>Cladophora albida</i>	19,6	0,3	232,2	-
<i>Cladophora laetevirens</i>	-	5,9	10,7	371,4
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	0,4	-	54,6	-
<i>Chatomorpha aërea</i>	-	0,1	-	-
<i>Ulva rigida</i>	264,3	702,4	121,5	50,0
<i>Callithamnion corymbosum</i>	13,9	-	14,3	-
<i>Ceramium arborescens</i>	7,2	-	-	-
<i>Ceramium circinnatus</i>	3,4	19,4	0,3	50,0
<i>Ceramium rubrum</i>	12,0	-	4,3	-
<i>Gelidium latifolium</i>	17,9	16,7	-	-
<i>Laurencia coronopus</i>	148,2	31,0	17,9	-
<i>Laurencia paniculata</i>	-	3,9	-	-
<i>Apoglossum ruscifolium</i>	0,6	5,5	-	-
<i>Dasya pedicellata</i>	0,7	-	-	-
<i>Polysiphonia subulifera</i>	0,3	-	-	-
<i>Cladostephus verticillatus</i>	-	0,9	-	-
<i>Cystoseira barbata</i>	0,6	126,2	-	-
Всего	489,7	908,4	455,7	471,4

На южном молу с внешней стороны обнаружено 12 видов макрофитов, с внутренней – 17 видов. Доминировала в верхнем горизонте водоросль *Laurencia coronopus* (70,9 %), в среднем горизонте – цистозира (64,5 %). Максимальная биомасса была зарегистрирована на II профиле, минимальная на I профиле (табл. 7.27).

Таблица 7.27 Распределение биомассы (г/м²) водорослей на молах б. Камышовой в 1992 г. по профилям

Сторона мола	Южный мол				Северный мол	
	I	II	III	IV	I	II
внешняя	264,8	4145,0	797,9	528,6	152,7	885,4
внутренняя	414,1	1751,3	1404,4	1123,5	501,4	881,3

С внутренней стороны обоих исследованных горизонтов (образцы отбирали с глубин не более 3 м) преобладала ульва – 54,0 % в верхнем и 78,0 % в нижнем. В верхнем горизонте была обильно представлена *L. coronopus*, и незначительно – остальные водоросли.

На северном молу с внешней стороны было найдено 15 видов водорослей-макрофитов, а с внутренней – 8. В верхнем горизонте внешней стороны, как и на южном молу, доминировала *L. coronopus* (47,3 %). В среднем горизонте общая биомасса в основном складывалась из ульвы (51,0 %) и субдоминантного вида была *Cladophora laetevirens* (34,0 %). Максимум средней биомассы обнаружен на свободном конце мола (см. табл. 7.27)

С внутренней стороны в верхних горизонтах преобладала *Cladophora albida* (50,8 %), а в нижнем – другой вид кладофоры – *Cladophora laetevirens* (79,0 %). Максимум биомассы, как и на внешней стороне, сдвинут ко II профилю.

Причалы Севастопольской и Камышовой бухт. Причалы обеих бухт крайне бедны макрофитами по сравнению с молами и с естественными каменистыми субстратами [74, 77]. В вершинах бухт водоросли встречались лишь в виде отдельных экземпляров, поселяющихся у самой поверхности воды. По мере продвижения к выходу из бухт появляются зеленые (4 вида) и красные (2 вида) водоросли. Нижние горизонты, как правило, лишены растительности, что могло быть связано с вызываемым винтами судов взмучиванием, которое ухудшает освещенность и механически препятствует развитию водорослей.

Преобладающей водорослью являлась *Ulva rigida*, биомасса которой достигала 1260 г/м². Характерные для природных твердых субстратов портовых акваторий *Enteromorpha intestinalis*, *Cladophora laetevirens*, *Ceramium*

rubrum встречались на причалах в небольших количествах, чаще всего у уре-
за воды.

В обеих бухтах на причалах отмечено необычное для летнего сезона
наличие зимней формы *Bryopsis plumosa*. Это явление объясняется [70] спе-
цификой условий вертикально расположенного субстрата, создающего зате-
ненность. Бурые водоросли на причалах не отмечены.

Часть II Химический состав гидробионтов и взаимодействие их с нефтяным загрязнением (экспериментальное изучение)

Важной характеристикой экологического состояния акватории может служить химический состав гидробионтов. С одной стороны, нарушение физиолого-биохимических показателей организмов свидетельствует о неблагоприятных условиях окружающей среды, с другой стороны, накопленные гидробионтами токсиканты помогают в оценке загрязнения водоемов. Кроме того, последующий выход (после гибели организмов) как токсикантов, так и продуктов разложения организмов, может в значительной степени сказываться на качестве морской среды.

Глава 1. Химические показатели водорослей

Исследовали сезонную динамику биохимических показателей красной водоросли *Callithamnion corymbosum* из двух в разной степени подверженных антропогенному воздействию бухт [14]. Определяли содержание нуклеиновых кислот, свободных нуклеотидов, хлорофилла «а» и липидов. Данные, представленные в таблице 1.1, показывают сезонную динамику нуклеиновых кислот у водорослей разных бухт.

Таблица 1.1 Сезонный биохимический состав водорослей различных бухт

Биохимический показатель, мг %	n	Зима	Весна	Лето	Осень
б. Севастопольская					
Хлорофилл	4	$0,79 \pm 0,05$	$0,79 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,003$	$0,64 \pm 0,02$
КРП	6	$0,31 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$	$0,45 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$
ДНК	6	$0,49 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,008$	$0,14 \pm 0,01$
РНК	6	$3,00 \pm 0,16$	$2,68 \pm 0,23$	$0,39 \pm 0,03$	$1,53 \pm 0,17$
Липиды	4	$10,20 \pm 0,31$	$8,13 \pm 0,06$	$2,11 \pm 0,06$	$7,00 \pm 0,25$
РНК /ДНК		6,12	8,37	6,50	10,92
б. Камышовая					
Хлорофилл	4	$0,61 \pm 0,04$	$0,32 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,01$	$1,15 \pm 0,03$
КРП	4	$0,16 \pm 0,008$	$0,12 \pm 0,005$	$0,17 \pm 0,006$	$0,39 \pm 0,07$
ДНК	4	$0,12 \pm 0,003$	$0,11 \pm 0,002$	$0,11 \pm 0,003$	$0,16 \pm 0,002$
РНК	4	$1,82 \pm 0,08$	$1,31 \pm 0,05$	$1,05 \pm 0,02$	$2,02 \pm 0,08$
Липиды	4	$6,03 \pm 0,25$	$6,34 \pm 0,16$	$9,36 \pm 0,36$	$6,40 \pm 0,28$
РНК /ДНК		15,16	11,90	9,54	12,62

В водорослях загрязненной Севастопольской бухты максимальное количество нуклеиновых кислот обнаружено в зимний период, минимальное - в летний. К осени содержание ДНК и РНК возрастало. Летом концентрация РНК и ДНК по отношению к зимнему сезону составляла 13 и 12 %, соответственно. В водорослях практически чистой Камышовой бухты максимальное содержание РНК наблюдалось в осенне-зимний период, минимум - летом, но снижение уровня РНК в водорослях было здесь слабее, чем в Севастопольской бухте (57 % по отношению к содержанию РНК зимой). Количество ДНК в водорослях, взятых из б. Камышовой, оставалось неизменным в течение трех сезонов и лишь осенью несколько возросло.

Характер динамики кислоторастворимых продуктов (КРП) зимой, весной и летом в водорослях разных бухт в общем одинаков, но в водорослях б. Севастопольской изменения более выражены. Содержание КРП, куда входят нуклеотиды, нуклеозиды, основания и некоторые другие низкомолекулярные соединения, у водорослей б. Севастопольская снижалось весной до 58 % по отношению к количеству КРП в январе, а летом возрастало до 145 %. В эти же сезоны изменения КРП в водорослях б. Камышовой составляют 25 %. Осенью содержание КРП в водорослях Камышовой бухты увеличилось более чем в два раза, а Севастопольской бухты - уменьшилось на 20 % по сравнению с летним максимумом. У водорослей б. Камышовой между изменением концентраций РНК и КРП наблюдалась положительная корреляция ($r = 0,69$). У водорослей б. Севастопольской эта связь была отрицательной ($r = -0,82$). Вероятно, синтез низкомолекулярных предшественников нуклеиновых кислот определяется не только необходимостью синтеза РНК и ДНК, но и влиянием экологических условий.

Содержание липидов в красных водорослях обычно невелико и составляет для разных видов 0,4 - 3,2 %. В водорослях бухт их значительно больше - от 2 до 10 %. В Севастопольской бухте количество липидов в водорослях максимальное зимой и минимальное летом. В Камышовой бухте содержание липидов постоянно зимой, весной и осенью и увеличивалось примерно на 50 % в летний период. Изменение концентрации липидов в б. Севастопольской связано с содержанием в водорослях нуклеиновых кислот (липиды ДНК, $r = 0,90$; липиды РНК, $r = 0,94$). В б. Камышовой корреляция между изменением содержания нуклеиновых кислот и липидов была отрицательной ($r = -0,77$).

Концентрация хлорофилла в водорослях бухты Севастопольская изменялась по сезонам аналогично другим биохимическим компонентам (РНК, ДНК, липиды). Максимальное количество отмечено зимой и весной, минимальное летом. В водорослях Камышовой бухты количество хлорофилла уменьшалось весной, максимальное содержание обнаружено осенью.

Синтез РНК имеет существенное значение для обновления хлорофилла. Связь между содержанием РНК и хлорофилла прослеживалась в сезонной динамике этих компонентов в обеих бухтах: в Севастопольской бухте коэффициент корреляции изменений РНК и хлорофилла был равен 0,92; в Камышовой бухте – 0,81. Между количеством хлорофилла и КРП также наблюдалась отчетливая взаимосвязь: в б. Севастопольской отрицательная ($r = -0,82$), в Камышовой бухте – положительная ($r = 0,97$).

Характер сезонных биохимических изменений свидетельствовал о тесной корреляционной связи между процессами синтеза и распада исследованных соединений. Антропогенный экофактор существенно изменял обмен основных биохимических компонентов водорослей.

Водоросли из загрязненной бухты способны накапливать углеводороды нефти, о чем свидетельствовало наличие в них нормальных алканов в широком диапазоне гомологов, а также изопrenoидов, не свойственных водорослям из чистых бухт. Возможно, водоросли способны включать углеводороды нефти в синтез собственных углеводородов, поскольку в пробах из загрязненной акватории одновременно с ростом разнообразия искусственных увеличилось количество биогенных углеводородов, таких как C_{17} и C_{15} , доминирующих в водорослях.

Наблюдения над зелеными водорослями показали аналогичные изменения их химического состава в условиях углеводородного загрязнения [75, 76].

Глава 2. Углеводородный состав мидий.

Были исследованы мидии *Mytilus galloprovincialis*, собранные с разной глубины в бухтах, отличающихся степенью загрязнения [68, 69].

Анализы показали, что общая сумма углеводородов у мидий из б. Севастопольская, загрязненной больше других, изменялась от 223 до 333 мг/100 г сырой массы, причем наибольшие величины наблюдались на глубине 4 м (табл. 2.1).

В других бухтах концентрации углеводородов были пониженные и уменьшались с глубиной.

Мидии загрязненной акватории имели диапазон нормальных алканов от C_{11} до C_{23} и изопrenoидов от C_{14} до C_{20} . Мидии б. Камышовой включали меньший диапазон нормальных и разветвленных алканов. В частности, не были обнаружены nC_{11} , nC_{12} , nC_{13} и iC_{14} , iC_{15} в пробах верхних горизонтов, а также nC_{14} и iC_{16} , iC_{18} , iC_{20} – в пробах, собранных на глубине. Мидии относительно чистой б. Казачья содержали на порядок меньше алканов, диапазон нормальных алканов в моллюсках из поверхностного горизонта от C_{16} до C_{22} , на глубине 7 м от C_{14} до C_{20} .

Таблица 2.1 Количество углеводородов в мидиях разных горизонтов и бухт

Горизонт, м	Количество углеводородов, мг/100 г сырой массы	Доминирующие углеводороды		Сумма н- алканов и изо- преноидов, мг /100 г сырой массы
		н-алканы	изопреноиды	
б. Севастопольская				
0	287	C ₂₀	C ₁₉	12,1
1	238	C ₁₇	C ₁₉	13,2
2	225	C ₂₀	C ₁₉	35,9
3	233	C ₁₇	C ₁₉	13,4
4	333	C ₂₀	C ₁₉	41,9
5	226	C ₂₀	C ₁₉	13,3
6	223	C ₂₀	C ₁₉	15,6
7	272	C ₂₀	C ₁₉	25,1
8	264	C ₁₇	C ₁₉	15,4
9	240	C ₂₀	C ₁₉	28,1
10	303	C ₁₇	C ₁₉	11,6
б. Камышовая				
0	95	C ₂₀	C ₁₉	6,8
1	108	C ₂₀	C ₁₉	16,4
2	74	C ₂₀	C ₁₉	10,2
3	73	C ₁₇	C ₁₉	6,3
4	40	C ₂₀	C ₁₉	2,7
5	55	C ₂₀	C ₁₉	2,7
7	47	C ₂₀	C ₁₉	2,05
б. Казачья				
2	37	C ₂₀		0,5
7	14	C ₂₀		0,1

Таким образом, состав и количество углеводородов в мидиях отражал степень загрязненности бухт нефтью и нефтепродуктами. В акваториях более чистых бухт концентрация углеводородов была выше у мидий, расположенных ближе к поверхности. С увеличением глубины уменьшались количество и диапазон алканов и изопреноидов. В хронически загрязненной бухте закономерность иная - наблюдалось накопление углеводородов в мидиях глубинных слоев. Кроме того, мидии бухт с разной степенью загрязнения отличались по содержанию липидов, в частности, триглицеридов.

В естественных поселениях мидий, как правило, встречаются особи различных размеров, что может дать материал к оценке самоочищения морской воды от углеводородов нефти. Наблюдая за ростом мидий на капроновых коллекторах в Севастопольской бухте, установили, что за период с момента массового оседания личинок в июне – июле до конца года мидии вы-

росли до размеров 20 – 30 мм. Дальнейшее наблюдение показало, что в естественных условиях от коллектора постепенно отрывались крупные формы и в общей массе обрастаний они составляли незначительный процент. В этой связи изучение мидий было ограничено четырьмя размерными группами: 50 – 40 мм, 40 – 30 мм, 30 – 20 мм и менее 20 мм. Для определения углеводородного состава мидий различного размера использовали организмы, собранные в загрязненной Севастопольской и практически чистой Казачьей бухтах. Результаты показали, что с уменьшением размера мидий увеличивалось количество алканов (на единицу массы). В частности, моллюски длиной 20 – 30 мм содержали алканов в три – пять раз больше, чем размером 40 – 50 мм. Были подсчитаны объемы профильтрованной воды на единицу массы тела мидий. Мидии размером 20 - 30 мм и менее пропускают в полтора – три раза больше морской воды на 100 г сырой массы, чем мидии длиной 40 – 50 мм. Следовательно, одной из причин, вызывающих увеличение количества углеводородов в мидиях мелких форм в отличие от крупных, является их способность профильтровывать большие объемы воды на единицу массы тела.

Для анализа ароматических углеводородов собрали мидии одинаковых размеров из тех же бухт, отличающихся по степени нефтяного загрязнения [67].

Глава 3. Влияние загрязнения на гидробионтов

Оценка экологического состояния акватории не может быть полной без соответствующих экспериментальных (в основном, лабораторных) наблюдений над влиянием тех или иных токсикантов на морские организмы. Поскольку число загрязняющих веществ, попадающих в морскую воду, измеряется многими тысячами, то определить действие каждого из них практически невозможно. Поэтому основное направление исследований в водной токсикологии было сосредоточено на наиболее значимых токсических соединениях. Само понятие значимости того или иного вида загрязнений весьма условно. Однако, из всего спектра попадающих в море химических веществ можно выделить те, которые по качественным и количественным характеристикам занимают лидирующее положение. К таким веществам относятся нефть и нефтепродукты, токсичности которых и распространению их в морской среде посвящена обширная литература. Для Севастопольской бухты этот вид загрязнений также является преобладающим и, в отличие от других веществ, попадающих в эту акваторию, в подавляющем случае превышает существующие в настоящее время предельно допустимые концентрации (ПДК), равные для морской воды 0,05 мг/л. Для донных осадков ПДК не разработаны. Попытка разработки ПДК для донных осадков была предпринята

нами ранее [63], и в настоящее время исследование в этом направлении продолжается.

Экспериментальное изучение влияния нефтяного загрязнения на гидробионтов Севастопольской бухты проводилось по двум направлениям: непосредственного токсического действия нефтяных углеводородов; накопления и выведения их различными организмами, включая передачу по пищевой цепи. Отдельно рассматривался вопрос о влиянии нефти и нефтепродуктов на бактериальные сообщества, а также низшие грибы и дрожжи [37].

Взаимодействие с нефтяными углеводородами приводит к различным физиолого-биохимическим и морфологическим изменениям в гидробионтах, например, к изменению реакций. В одних случаях эти изменения носят обратимый характер, а в других – вызывают стойкие патологические нарушения, ведущие к гибели. Воздействуя на генетический аппарат, токсикант может стать причиной появления неполноценного потомства и, следовательно, вырождения вида. Выпадение тех или иных видов из сложившегося сообщества ведет к перестройке биоценозов, а при длительном или массовом воздействии токсиканта – к полному уничтожению экосистемы.

Гибель организма в результате воздействия загрязняющего вещества является очевидным и единственно надежным признаком вредности агента. В то же время определение многих важных отклонений физиолого-биохимического и морфологического характера, которые предшествуют гибели гидробионта, а также патолого-анатомических изменений в организме требуют порой сложных инструментальных исследований. Однако, их определение позволит приблизиться к пониманию механизма действия токсиканта, а также даст возможность прогнозировать состояние вида (биоценоза) и всей экосистемы в целом.

Некоторые виды простейших (*Euplotes vanus*, *Diophrys appendiculata*) из Севастопольской бухты нормально развивались в морской воде при концентрациях нефти 0,01 – 0,05 мл/л. Они были способны поселяться на нефтяных остатках, как на плавающих в воде, так и выброшенных на берег и омываемых морской водой.

Эксперименты с представителями зоопланктона (*Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Penillia avirostris*, *Oithona nana*, *Centropages ponticus*), отловленными в Севастопольской бухте, показали, что нефть и нефтепродукты в концентрации 0,001 мг/л ускоряли гибель этих массовых планктонных видов. В то же время, значительных видовых различий в чувствительности к загрязнению морской воды нефтепродуктами у исследованных организмов не наблюдалось. Однако, существует различная чувствительность к нефтяному загрязнению у полов. На пятые сутки опыта количество живых самок акарции в несколько раз превышало число самцов (в контроле – поровну).

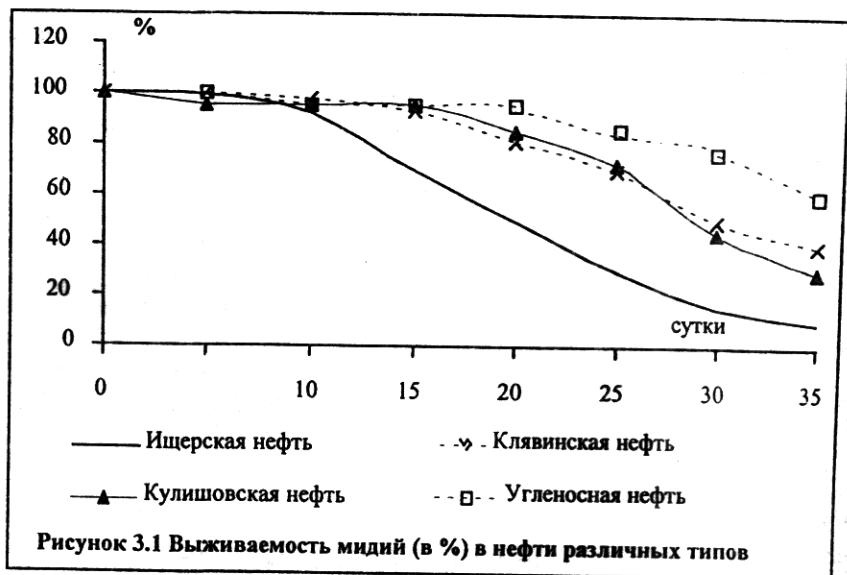
Экспериментальное наблюдение за наполнением кишечника *Acartia clausi* показало, что 55 % особей заглатывали нефть в первый час пребывания в морской воде, загрязненной нефтью [1]. Факт поглощения зоопланктоном нефтяных частиц свидетельствует об определенной роли этих организмов в переносе нефти из верхних слоев моря в глубину. При высокой фильтрационной активности некоторых видов, достигающей до 15 л/сут. на одну особь, такой перенос может быть весьма значительным. Каждая особь *Calanus finmarchicus* может заглатывать ежедневно до $1,5 \cdot 10^4$ г нефти. Таким образом, популяция плотностью 2 тыс. экз./м², занимающая район площадью 1 км² и глубиной 10 м, может удалить из воды 3 т нефти в сутки.

Нефть по-разному действует на планктонные стадии бентосных ракообразных в зависимости от вида: *Leander adspersus* является более стойким видом, чем *Pilumnus hirtellus*, *Balanus* sp. и *Pachygrapsus marmoratus*.

Результаты лабораторных опытов в известной мере совпадали с натурными наблюдениями. Так, относительной стойкостью к нефтяному загрязнению отличались мраморные крабы *Pachygrapsus marmoratus*. Экземпляры массой 2 – 2,5 г в течение 15 сут оставались жизнеспособными, находясь в морской воде, содержащей 1 и 0,1 мл/л флотского мазута, и по поведению не отличались от контрольных организмов. Вылезая на выступающие над поверхностью камни, крабы многократно пересекали пленку мазута, а также длительное время находились на камнях, загрязненных мазутом. Эти наблюдения в значительной степени объясняют то, что мраморные крабы, как правило, не покидают побережья при его загрязнении нефтью.

Среди организмов бентоса интерес представляют некоторые виды моллюсков. Относительная устойчивость мидий к нефтяному загрязнению позволяет использовать их в гидробиологической очистке нефтесодержащих морских вод, а способность концентрировать углеводороды нефти – в системе биомониторинга нефтяного загрязнения.

По некоторым наблюдениям [5] концентрация нефтяной вытяжки 1 – 10 мл/л не угнетает мидий, они фильтруют воду наравне с контрольными. Видимая реакция наступает при концентрации 20 мл/л: мидии открываются лишь спустя 10 – 12 часов после ослабления вытяжки, раскрытие створок меньше, чем у контрольных, реакция на раздражение замедленная. При более высоких концентрациях (50 – 100 мл/л) створки мидий открываются через 1 – 5 суток. У некоторых мидий при воздействии таких концентраций створки широко открываются через 1 – 2 сут, активная фильтрация и реакция на раздражение отсутствуют, однако, вскрытие моллюсков показало, что они живы. Данные о выживаемости мидий в нефти различных типов при концентрации 10 мл/л представлены на рис. 3.1. При содержании нефти 1 мл/л гибель мидий была незначительной. Большинство мидий выделяло биссусные нити и



прикреплялось к субстрату. Однако нити были значительно слабее и короче, чем у контрольных экземпляров.

Данные о потреблении кислорода мидиями в условиях нефтяного загрязнения приведены в таблице 3.1. В течение 5-час. эксперимента среднее потребление кислорода было почти таким же, как и у контрольных мидий. В эмульсии с концентрацией 1 мл/л оно несколько снизилось, а с концентрацией 10 мл/л уменьшилось вдвое. Мидии могут длительное время оставаться жизнеспособными в балластных водах при различных разведениях. Для других видов моллюсков (митилястр и кардиум) по данным [4, 40], между количеством потребленного организмом кислорода и концентрацией нефтепродуктов имеется определенная зависимость. При этом существует прямая связь между потреблением кислорода и массой моллюсков.

Таблица 3.1 Потребление кислорода мидиями в условиях нефтяного загрязнения

Среда	Температура, °C	Количество экземпляров	Среднее потребление кислорода, мл		
			на одну мидию	на 1 г с раковины	на 1 г без раковины
Чистая вода	15,9	29	0,026	0,019	0,144
Вытяжка	16,2	25	0,025	0,018	0,139
Эмульсия (1 мл/л)	17,2	15	0,021	0,015	0,116
Эмульсия (10 мл/л)	16,5	15	0,013	0,009	0,072

Прямые наблюдения, проведенные с целью определения влияния нефти на количество липидов у *Mytilus galloprovincialis*, показали, что в загрязненной акватории жирность мидий выше на 20 – 40 % [54]. Можно предположить, что эти изменения в липидах связаны с трансформацией углеводов *in vivo*. Однако не исключено, что они вызваны биохимической перестройкой в организме в ответ на неблагоприятные условия.

Возможно, нефтяное загрязнение приводит к нарушению жирового обмена, отложению липидов, что, в свою очередь, способствует накоплению углеводов нефти из морской воды (образуется порочный круг). Не исключено, что при этом идут и более глубокие изменения в организме, например, нарушение репродуктивной функции.

Немногочисленные экспериментальные данные свидетельствуют о влиянии нефти на функционирование растительных объектов. Пленка сырой нефти практически не вызывала изменений в фотосинтезе подопытных экземпляров ряда макрофитов (за исключением *Polysiphonia elongata*) на протяжении трех суток (табл. 3.2) [65]. При увеличении времени экспозиции до 8 – 9 сут наибольшую устойчивость к нефти проявляли *Ulva lactuca* и *Dilophus spiralis*. Первый вид, как известно, характерен для загрязненных морских вод. В то же время у *Polysiphonia* фотосинтез снижался на 20 – 50 % при концентрации нефти 0,1 мл/л.

Помимо физиолого-биохимических нарушений нефть приводит к патологическим морфологическим изменениям. Наиболее значительные сдвиги можно было наблюдать у молодых форм. Под воздействием нефти в концентрациях 1,0; 0,1; 0,01 мл/л замедлилось развитие проростков у *Polysiphonia breviararticulata* [10].

Гибели проростков предшествовало изменение окраски водорослей: у дилофуса – от зеленовато-оливковой до темно-серой и угольно-черной; полисифонии – от ярко-красной до бледно-розовой и золотисто-желтой. Характерно нарушение структурности протоплазмы, проявляющееся у рода *Polysiphonia* в потере зернистости. У *Dilophus fasciola* в результате плазмолиза

Таблица 3.2 Фотосинтез водорослей (мг О₂ на 100 г сырой массы)

Вид	Продолжительность, сут					
	опыт			контроль		
	1	2	3	1	2	3
<i>Cystoseira barbata</i>	32	40	30	35	36	35
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	57	51	40	60	65	40
<i>Ulva lactuca</i>	64	54	60	68	52	62
<i>Polysiphonia elongata</i>	31	12	погибли	30	30	29
<i>Dilophus spiralis</i>	-	11	8	-	10	10

происходило образование угольно-черных конкреций. Вероятно, это связано с различным химическим составом протоплазмы разных водорослей. Погибшие проростки теряли связь с субстратом и легко смывались водой.

Отмечено избирательное действие нефти на различные части проростков. Так, у *P. breviararticulata* наблюдалась более ранняя гибель верхушечных клеток, в то время как у *D. fasciola* раньше отмирали базальные клетки. Верхушечные и боковые клетки *D. fasciola* и *P. opaca* в ряде случаев продолжали делиться до полной гибели базальных клеток и как бы давали начало новому проростку, что, по-видимому, связано с большей приспособляемостью этих видов к условиям внешней среды.

Наблюдения, проведенные над группой водорослей (*Glenodinium dichotoma*, *Polysiphonia opaca*, *Ulva lactuca*, *Ceramium rubrum*, *Ceramium ciliatum*, *Cystoseira barbata*), показали, что изменение содержания нуклеиновых кислот при действии нефти в концентрации 1 мл/л в значительной степени зависело от индивидуальных особенностей организмов [66]. У *G. dichotoma* и *P. opaca* отмечали существенное уменьшение содержания ДНК, у *U. lactuca* и *C. barbata* это уменьшение выражено гораздо слабее, а содержание РНК не изменялось; у *C. ciliatum* изменялось содержание только РНК, а *C. rubrum* - только ДНК. В основном содержание нуклеиновых кислот уменьшилось, что свидетельствует о подавлении биосинтеза при усилении катаболизма нуклеиновых кислот.

Некоторые экспериментальные данные по влиянию нефти на рыб Севастопольской бухты приведены в монографических работах [50, 54]. На ранних стадиях развития организмы особенно чувствительны к нефтяным углеводородам. В этом отношении особый интерес представляет обитавшая ранее и полностью исчезнувшая из Севастопольской бухты камбала калкан. Эксперименты были поставлены с икрой этого вида, взятой из половозрелых особей, выловленных в прилегающей к Севастопольским бухтам морской акватории.

В течение первых суток в контроле и опытных вариантах с различными концентрациями нефти и нефтепродуктов осталось примерно одинаковое количество жизнеспособных икринок. Это позволяет считать, что в первые сутки количество жизнеспособной икры уменьшилось вследствие естественного отмирания. В последующие 2 сут икра погибла в морской воде с концентрацией нефти 0,1 и 0,01 мл/л, а мазута - 0,001 мл/л. При концентрации нефти 0,0001 и 0,00001, а также 0,001 мл/л солярового масла к исходу третьих суток остались жизнеспособными от 55 до 39 % икринок. При низких концентрациях не отмечалось зависимости гибели икринок от нефти или нефтепродуктов.

На четвертые сутки начался выклев предличинок. Выклев был недружным и закончился лишь на пятые сутки. В контроле на четвертые сутки

выключилось 93 % предличинок. При концентрации мазута 0,0001 мл/л и нефти 0,001 мл/л выклев на четвертые сутки не наступил. При остальных концентрациях нефти и нефтепродуктов процент выклева колебался от 60 до 100. Таким образом, в ряде случаев выклев личинок из икры, подвергшейся действию нефти и нефтепродуктов, несколько замедлялся.

Большинство предличинок, выключившихся в морской воде с нефтью или нефтепродуктами, были аномальными (в основном искривление тела, часто многократное) и оказывались нежизнеспособными. Они не могли активно передвигаться и неподвижно лежали на дне кристаллизатора. О том, что эти предличинки живы, можно было судить только по сокращению сердца. Уже при концентрации нефтепродуктов 0,0001 мл/л все выключившиеся личинки имели дефекты и погибали в последующие сутки. При концентрации нефтепродуктов 0,00001 мл/л количество уродливых предличинок составляло 23 – 40 %, тогда как в контроле оно не превышало 7 – 9 %.

Наряду с экспериментами с икрой были поставлены опыты для выяснения влияния нефти и нефтепродуктов на предличинок камбалы. Наиболее активные особи отобраны спустя несколько часов после выклева.

В морской воде, содержащей нефтепродукты в концентрации 0,1 мл/л, а мазут – 0,01 мл/л, все предличинки погибали на вторые сутки от начала опыта. При более слабых концентрациях нефтепродуктов в морской воде разницы между гибелью предличинок в опыте и контроле не отмечалось. Можно было наблюдать, как предличинки при высокой концентрации в первый момент опускались на дно и переставали двигаться, слабо реагировали на прикосновение. Однако спустя 2 – 3 ч они вновь становились активными и в дальнейшем не отличались от контрольных.

На основании изложенного можно предположить, что выключившиеся предличинки более стойки к нефтяному загрязнению морской воды, чем развивающаяся икра. Вместе с тем необходимо учитывать, что фиксировалась только выживаемость, и заканчивались наблюдения на стадии предличинок. За дальнейшим развитием предличинок, подвергшихся действию нефтепродуктов, проследить не удалось. Однако можно полагать, что действие нефтепродуктов, которому подвергается организм на ранних этапах развития, отрицательно скажется в будущем, в частности, на таких важных биологических показателях, как плодовитость и качество потомства.

Полученные данные свидетельствуют о том, что попавшие в море нефть и нефтепродукты высокотоксичны для развивающейся икры камбалы и вызывают поражение ее при концентрациях 0,001 – 0,0001 мл/л, а в ряде случаев – и 0,00001 мл/л. На икру камбалы оказывает токсичное действие сама нефть и нефтепродукты, а также изменение химизма морской воды в результате загрязнения, что приводит, по-видимому, к нарушению обмена веществ в развивающемся зародыше.

Хотя камбала калкан является бентосной формой, ее икра развивается в самом поверхностном слое моря, наиболее загрязненном нефтепродуктами. Этот факт, а также загрязнение нефтяными углеводородами донных осадков Севастопольской бухты, привели к исчезновению камбалы в этой акватории.

Глава 4. Трансформация загрязнений гидробионтами.

Второй составляющей взаимодействия морских организмов с загрязнением является участие гидробионтов в преобразовании загрязняющих веществ в море.

4.1 Трансформация нефтяного загрязнения бактериями. Разрушение нефтяной пленки на поверхности моря, происходящее за счет микробиологических процессов, в естественных условиях проследить сложно. В лабораторном эксперименте наблюдали результаты этого процесса (рис. 4.1). На фотографиях видно изменение нефтяного пятна от момента нанесения нефти и на 53 сутки опыта. В аквариумах находилась морская вода, взятая из Севастопольской бухты, с добавлением солей азота и фосфора, которые являются одним из лимитирующих факторов при нефтяном загрязнении морской воды. Более подробно о лимитирующих факторах при биотрансформации нефти в море изложено в [32].

Помимо пленочной формы нефть может находиться в море в виде так называемой пелагической смолы или нефтяных остатков. Последние могут выбрасываться на берег, и дальнейшее их преобразование возможно на гра-



Рисунок 4.1 Эксперимент по бактериальному разрушению нефтяной пленки: изменение нефтяного пятна на поверхности аквариума (фотография слева – начало опыта, справа – через 53 дня)

нице "суша – море". В этих условиях и происходит трансформация нефти, попавшей в прибрежную зону при аварийных разливах.

Превращения нефти продемонстрировали эксперименты [58, 59] по разложению нефтяных остатков (пелагической смолы), собранных в акватории Севастопольской бухты. В аквариумах имитировалось наличие нефтяных остатков в воде и на берегу (нефтяные остатки наносились на крупную гальку, которая периодически омывалась морской водой). Результаты химических изменений нефти представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 Групповой состав нефтяных остатков в воде и на берегу, %

Время, сут.	Масла		Смолы		Асфальтены	
	Вода	Берег	Вода	Берег	Вода	Берег
Исходное	43,5	43,5	22,0	22,0	34,5	34,5
30	54,5	49,75	26,5	19,4	19,0	30,9
60	53,5	32,2	31,7	33,4	14,8	34,4
90	57,8	26,5	28,6	33,8	13,8	39,7
120	53,0	32,3	20,7	22,7	26,3	45,0
180	46,4	30,2	19,9	21,9	33,4	47,9
240	33,6	29,1	22,7	22,9	43,7	48,0
300	32,6	25,5	23,7	25,6	43,7	48,92
365	30,8	23,1	25,4	28,1	43,8	48,8

Как видно из данных табл. 4.1, произошло уменьшение доли масляной фракции и возрастание доли смолисто-асфальтеновых соединений.

В ходе эксперимента прослеживались две фазы. В первой, продолжительностью 60 – 90 сут., в групповом составе нефтяных остатков в воде наблюдалось увеличение доли масел и смол в 1,3 раза, соответственно доля асфальтенов уменьшалась в 2,5 раза. После 60 – 90 сут. отмечался обратный процесс: постепенное сокращение величины масляной фракции, причем вначале резкое, а затем возрастание количества смолистых веществ и асфальтенов. При этом по сравнению с исходным образцом, в воде через год доля масел уменьшилось на 30 %, содержание смол и асфальтенов возросло соответственно на 11,5 и 12,6 %.

Во фракции масел произошли следующие изменения (данные газожидкостной хроматографии) (рис. 4.2).

К 120-м суткам опыта, когда количество масляной фракции начало уменьшаться, на хроматограмме отмечалось резкое снижение концентрации н-алканов, изопренановый ряд парафинов состоял только из трех углеводородов - iC_{18} , iC_{19} , iC_{20} . На хроматограммах, соответствующих 180-м и 240-м суткам, прослеживались только следы углеводородов. Аналогичные изменения происходили и с нефтяными остатками на берегу (имитация в аквариальных условиях).

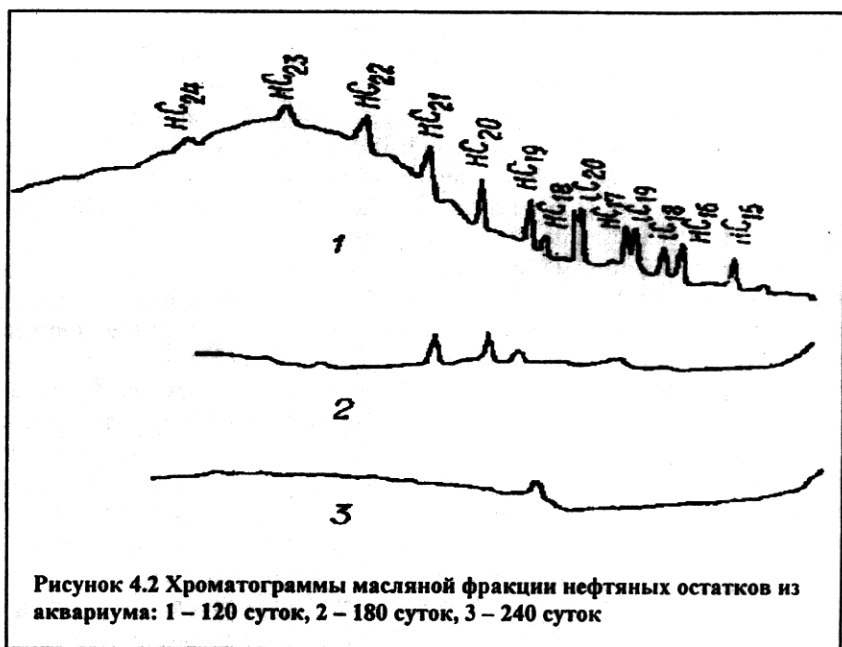


Рисунок 4.2 Хроматограммы масляной фракции нефтяных остатков из аквариума: 1 – 120 суток, 2 – 180 суток, 3 – 240 суток

Показателями биохимического окисления нефтяных остатков являются отношения пристана к гептадекану, фитана к октадекану или суммы пристана и фитана к сумме гепта- и октадекана. В окисленных нефтяных остатках эти соотношения резко возрастали, что указывает на активную деятельность морских микроорганизмов. Помимо бактерий, отнесенных к родам *Bacterium*, *Pseudobacterium*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Vibrio*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas* на нефтяных остатках поселялись инфузории *Holotricha*, *Microregma*, *Dysteria*, *Ziotonus*, *Euplotes*, *Vorticella*, *Amphileptiatae*. На 30-е сутки эксперимента были отмечены нематоды, численность которых впоследствии возрастала. К третьему месяцу развились плесневые грибы и появились полихеты.

Однако попавшие на берег нефтяные остатки могут быть вновь смыты в море. Собранные на побережье Севастопольской бухты образцы нефтяных остатков, образовавшихся в результате загрязнения прибрежных скал нефтью и находившихся там неопределенно долгое время, были помещены в проточный аквариум на 70 суток при температуре морской воды 17–22 °C. За это время наблюдалось уменьшение доли масляной фракции на 15 %, практически исчезли парафины C_{12} – C_{15} и снизилось в несколько раз количество соединений C_{16} – C_{26} . Следует отметить сокращение доли серы в бензольных

смолах в 4,5 раза, а в спирто-бензольных смолах на 20 %. Пока трудно объяснить этот факт, но, возможно, здесь принимали участие бактерии рода *Thiobacillus*, которые участвуют в преобразовании соединений серы.

4.2 Преобразование нефти в донных осадках. С целью изучения процессов преобразования нефти в грунте был поставлен многолетний эксперимент [53]. Загрязненные нефтью пробы донных осадков были отобраны в Севастопольской бухте и помещены в аквариум с проточной водой. Грунт равномерно распределили по дну слоем толщиной 20 см.

В течение первого месяца на поверхности грунта образовался тонкий окисленный слой толщиной около 1 мм. В толще грунта, прилегающего к стеклянным стенкам аквариума, были заметны ходы, проделанные полихетами, которые имели светлую окраску, аналогичную поверхностному слою. Позже толщина окисленного слоя росла и к концу года достигла 5 - 12 мм. Дальнейшего увеличения не наблюдалось. Через 2,5 года от начала эксперимента в окисленном слое появились прослойки темного восстановленного ила. Таким образом, окислительные условия в донных осадках, присущие границе раздела фаз «ил - вода», захватили лишь небольшую толщину ила. Позже в окисленном слое начали проявляться восстановительные условия.

В первый год по сравнению с исходными показателями отмечалось снижение количества масел и увеличение доли смол и асфальтенов, т.е. происходило осмоление битумоидов. Этот процесс шел интенсивнее в верхнем слое осадков. Во второй год подобная тенденция сохранилась только для верхнего слоя донных осадков, где продолжалось сокращение доли масляной фракции. В глубже лежащих слоях количество масел возрастало и даже превысило первоначальное содержание в исходном иле. При этом происходили и качественные изменения, в частности, доля метано-нафтенных соединений уменьшилась, а доля ароматических и гетероатомных соединений несколько возросла.

Со временем численность нефтеокисляющих микроорганизмов, особенно в глубине грунта, снижалась. Наряду с микроорганизмами в донных осадках обитали инфузории, численность и систематический состав которых варьировал в широких пределах. Наибольшее количество инфузорий выделялось в верхнем слое грунта, где доминировали роды *Uronema*, *Diophrys*, *Peritrichia* и *Euplotes*. Последний род наиболее часто встречался и в глубоких слоях донных осадков. Из других групп организмов значительной численностью характеризовались морские клещи.

Таким образом, результаты трехгодичных наблюдений над донными осадками показали, что химические изменения за этот срок выражены слабо и в основном проявлялись на границе раздела фаз. Окислительные процессы захватывали лишь самый поверхностный слой донных осадков, под которыми осталась восстановленная зона. Последнее свидетельствует о том, что

преобразование загрязнений, захвативших большую толщину донных отложений, может затянуться на длительный срок. Подобная картина наблюдается и в природных условиях. Это позволяет провести параллель между лабораторными экспериментами и естественными процессами, протекающими в донных осадках прибрежных морских акваторий, и моделировать ситуации загрязнения различного антропогенного происхождения.

При попадании нефти в донные осадки дальнейшее ее разложение идет при участии анаэробного бактериобентоса, являющегося составной частью биоценоза грунтов. Серия экспериментов ставилась с донными осадками, взятыми в Севастопольской бухте [10].

Сульфатредукторы в процессе жизнедеятельности могут использовать только продукты метаболизма углеводородокисляющих бактерий, а не углеводороды нефти [33]. В связи с этим высокая численность сульфатовосстанавливающих бактерий в исходной пробе грунта (10^7 кл./мл) может свидетельствовать о наличии в донных осадках окисленных продуктов нефти. В течение опыта количество микроорганизмов этой группы постепенно уменьшалось и составило через 3,5 мес. - 10^6 кл./мл, а через 7 мес. - 10^4 кл./мл.

Сопутствующей микрофлорой при анаэробном разложении нефти является группа денитрифицирующих микроорганизмов. В экспериментах численность денитрификаторов уменьшилась на один - два порядка к середине опыта и значительно увеличилась к концу его (до 10^6 - 10^5 кл./мл). Параллельно с увеличением численности денитрифицирующих микроорганизмов происходит уменьшение численности сульфатредукторов. Имеются данные, что некоторые штаммы денитрифицирующих бактерий подавляют жизнеспособность сульфатредукторов и что изменение углеводородных фракций наиболее активно проходит под влиянием биоценоза бактерий, в котором денитрифицирующие бактерии преобладали над сульфатредуцирующими. В микробиоценозе эксперимента наблюдалась подобная картина - к концу опыта группа денитрифицирующих бактерий преобладала над сульфатредуцирующими. Возможно, этим соотношением в биоценозе микроорганизмов можно объяснить полученные изменения массы нефтепродуктов в анаэробных условиях. За 7 мес. количество экстрагируемых нефтепродуктов в опыте уменьшилось на 32,1 %. В контроле (добавляли 1 мл формалина для нейтрализации деятельности бактерий) эта разница составила всего 1,7 %.

Таким образом, в донных осадках с анаэробными условиями за 7 мес. произошел не только значительный рост численности микроорганизмов, но и снижение количества нефтепродуктов, что подтверждает идущие в анаэробии процессы бактериального разложения углеводородов.

Вторая серия опытов продолжительностью 120 сут. была поставлена для изучения динамики численности некоторых групп микроорганизмов в эксперименте с донными осадками различной степени загрязнения нефте-

продуктами и их роли в процессах преобразования углеводов в анаэробных условиях. В эксперименте были использованы пробы натуральных донных осадков, отобранных на трех станциях в Севастопольской бухте. Донные осадки отличались друг от друга по морфологическим, физико-химическим, бактериологическим характеристикам.

Донный осадок станции 1 был отобран в вершине бухты с глубины 10 м, он представлял собой ил со слабо восстановительными условиями среды ($E_h = -39$ мВ; $pH = 7,45$). Повышенное содержание органического вещества (7,22 %) не связано с углеводородным загрязнением. Содержание углеводов равняется 0,31 г/100 г сухого осадка, что составляет 5,8 % общего количества органического вещества.

Донный осадок станции 2, отобранный в средней части бухты с глубины 14 м, также представлял собой ил темного цвета с восстановительными условиями среды ($E_h = -154$ мВ; $pH = 7,6$). В нем содержалось 8,95 % органического вещества. Значительная часть его (52,7 %) представлена углеводородами, масса которых составила 4,61 г / 100 г сух. осадка.

Ил с примесью песка на станции 3, отобранный в примыкающей к бухте части моря с глубины 20 м, имел положительный $E_h = 39$ мВ и $pH = 7,65$. Содержание органического вещества не превышало 0,64 %. На долю углеводов приходилось 3,1 % органического вещества. Добавленная в пробу сырая нефть из расчета 0,5 мл/100 г сухого грунта увеличила содержание органического вещества до 1,92 %.

Эксперименты проводились в строго анаэробных условиях, результаты которых представлены в табл. 4.2. Оказалось, что наибольшее число сульфатредуцирующих бактерий (10^3 кл./г) содержалось в исходном грунте (проба 1), в которой органическое вещество было неуглеводородного характера. В насыщенном углеводородами донном осадке (проба 2) их было 10 кл./г. В исходном, относительно чистом грунте (проба 3) исследуемой навески (1 г), сульфатредукторы не обнаружены. Через месяц при изучении микрофлоры, поступившей из донных осадков в среду Зейкуса, оказалось, что численность ее резко возросла в пробах 2 и 3 и составила 10^4 кл./мл. До конца эксперимента содержание сульфатредукторов практически не изменялось.

Количественный учет бродийщиков показал, что численность их колебалась в зависимости от характера загрязнения грунта. В эксперименте с неуглеводородными донными осадками (проба 1) вначале численность их резко увеличилась (от 10 кл./г в исходной пробе грунта до 10^5 кл./мл в среде Зейкуса), затем стабилизировалась и к концу опыта составила 10^3 кл./г. В опыте с донным осадком, содержащим значительное количество углеводов (проба 2), отмечена обратная зависимость - вначале произошло снижение численности бродийных микроорганизмов от 10^3 кл./г до 1 кл./мл, затем количество их увеличилось до 10^4 кл./мл, но к концу опыта составило 10^2 кл./г.

Таблица 4.2 Численность анаэробных микроорганизмов во второй серии экспериментов

Группа микроорганизмов	Исходный грунт, кл./г	В среде Зейкуса, кл./мл			В грунте после снятия опыта, кл./г (IV месяц)
		I месяц	II месяц	III месяц	
1-я проба					
Сульфатредуцирующие	10 ³	10 ⁴	10 ³	10 ⁴	10 ⁴
Бродильные	10	10 ⁵	10 ³	10 ²	10 ³
Углеводородокисляющие	-	1	1	10	-
2-я проба					
Сульфатредуцирующие	10	10 ⁴	10 ³	10 ³	10 ³
Бродильные	10 ³	1	10 ⁴	10 ²	10 ²
Углеводородокисляющие	-	10	1	1	10
3-я проба					
Сульфатредуцирующие	-	10 ⁴	10 ³	10 ⁴	10 ⁴
Бродильные	10 ²	10 ³	10 ³	10	10 ³
Углеводородокисляющие	-	1	1	1	10

В эксперименте с насыщенным углеводородом донным осадком (проба 2) и с сырой нефтью (проба 3) после четырехмесячной экспозиции была выделена группа микроорганизмов, окисляющая углеводороды (10 кл./г). Денитрифицирующие бактерии в исследуемых образцах грунта не обнаружены.

Таким образом, развитие в среде облигатных анаэробов (сульфатредукторы, бродильщики), бурное выделение газов и потемнение среды в опытных склянках свидетельствовало о том, что в эксперименте поддерживались анаэробные условия, и происходило разложение органического вещества. Наличие углеводородокисляющих микроорганизмов, возможно, связано с содержанием сульфатов в донных осадках, о чем указывалось ранее [33]. По другим данным [81], эти микроорганизмы вначале развивались за счет оставшегося в среде растворенного кислорода, а затем в анаэробных условиях длительно сохраняли жизнедеятельность, не окисляя нефть.

Хроматограммы алканов донных осадков свидетельствуют о том, что в пробе 1 (рис. 4.3) их меньше, чем в насыщенном углеводородами или пробы 2 (рис. 4.4) и больше всего находилось в пробе 3 (рис. 4.5), куда была добавлена сырая нефть. В пробе 1 произошли незначительные изменения количества изопреноидов пристана и фитана, концентрация нормальных алканов осталась на прежнем уровне и, начиная с C₂₁, они не были обнаружены.

Содержание парафинов в пробе 2 практически не изменилось по сравнению с контролем. Возможно, это связано с тем, что метано-нафтенная часть содержала преимущественно нафтенческие полициклические соедине-

ния, которые в анаэробных условиях не изменяются. В опыте с сырой нефтью углеводородов алканового ряда стало меньше по сравнению с контролем. Эти изменения произошли в первые несколько дней после постановки опыта, когда могла преобладать аэробная микрофлора, условия для развития которой были (Eh до +39 мВ). Ранее было показано, что за 5 сут. в морской воде в аэробных условиях происходит практически полное потребление парафинов.

4.3 Трансформация нефтяного загрязнения мидиями и основы гидробиологической системы очистки. Поскольку в процессах самоочищения принимают участие не только бактерии, но и гидробионты других систематических групп, важно было выяснить их взаимное участие в трансформации загрязнений. Наибольший интерес представляют организмы-фильтраторы, в частности мидии. Хотя установлено, что в процессе жизнедеятельности мидии могут частично преобразовывать нефтяные углеводороды, тем не менее пока не найдены ферменты, отвечающие за данный процесс. Возможно, что в нем участвует микрофлора самих моллюсков. С этой целью было проведено изучение микрофлоры содержимого желудка и мантийной жидкости мидий, собранных в сильно загрязненном участке Севастопольской бухты [55].

При микроскопировании содержимого желудка мидий, собранных в загрязненной бухте, наблюдали многочисленные палочковидные (подвижные и неподвижные) и кокковидные формы.



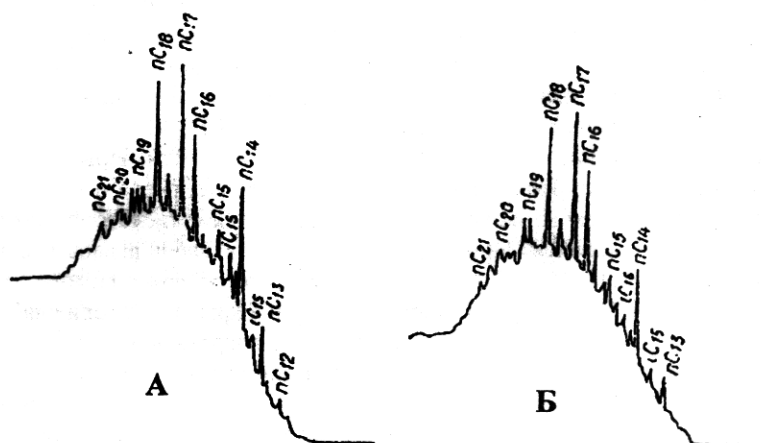


Рисунок 4.4 Хроматограммы алканов загрязненного углеводородами донного осадка (проба 2): А – контроль, Б - опыт

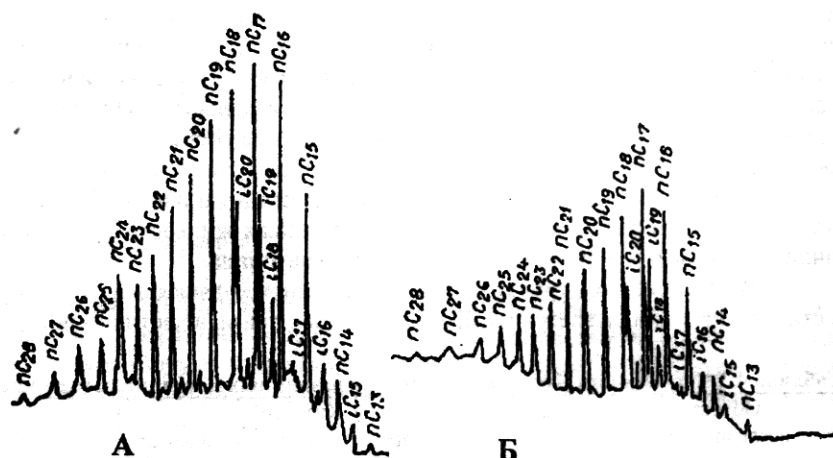


Рисунок 4.5 Хроматограммы алканов чистого донного осадка с примесью сырой нефти (проба 3): А – контроль, Б - опыт

Данные о морфологическом разнообразии бактерий чистых и загрязненных акваторий получены ранее. Колонии, выросшие из содержимого желудка и мантийной жидкости мидий, были полиморфны по размерам, окраске и консистенции. Численность микроорганизмов приведена в табл. 4.3.

Из приведенных данных следует, что общая численность бактерий, растущих на пептоне, составляла $10^5 - 10^6$ кл./мл и $10^4 - 10^5$ кл./мл соответственно для содержимого желудка и мантийной жидкости. При этом значительная часть гетеротрофов, находившихся в желудке, росла и на других источниках органического вещества. Сахар разлагался с кислотообразованием, крахмал гидролизировался. Примерно та же картина наблюдалась и с микрофлорой мантийной жидкости. Однако в отличие от содержимого желудка микроорганизмы мантийной жидкости на нефти и крахмале росли слабее.

Известно, что моллюски, собранные в загрязненных хозяйственно-бытовыми стоками акваториях, могут являться источником инфекционных заболеваний человека. Для изучения взаимодействия аллохтонной микрофлоры с мидиями была проведена серия экспериментов с внесением в аквариумы с мидиями культуры бактерий, которая по морфологическим признакам отличалась от бактерий, находящихся в кишечнике, мантийной жидкости мидий и в морской воде аквариума.

Таким образом, с одной стороны, по биохимическому спектру (возможность роста на одних и тех же субстратах) микроорганизмы мидий близки к микроорганизмам морской воды в местах обитания. В то же время добавление бактериальных культур в концентрациях, превышающих в тысячи раз концентрацию бактерий в морской воде, что может наблюдаться в районе сброса сточных вод, не привело к увеличению ее в полости моллюсков. Повидимому, в мидиях сформировалось свое микробное сообщество, родственное таковому морской воды, а привнесенная бактериальная культура отфильтровывалась мидиями, частично попав в мантийную жидкость. Это может свидетельствовать о том, что именно мантийная жидкость является источником инфекции при употреблении моллюсков в пищу.

В процессе фильтрационной деятельности находящаяся в море нефть частично отфильтровывается мидиями в псевдофекалии, а частично попадает

Таблица 4.3 Численность бактерий (кл./мл) на различных источниках углерода

Объект исследования	Дизельное топливо	Сахара	Китовый жир	Крахмал	Пептон
Содержимое желудка	$10^2 - 10^4$	$10^4 - 10^6$	$10^3 - 10^5$	$10^3 - 10^5$	$10^5 - 10^6$
Мантийная жидкость	$0 - 10^2$	$10^4 - 10^5$	$10^2 - 10^3$	$0 - 10^2$	$10^4 - 10^5$

в желудок вместе с пищевыми частицами. В последующем, если мидию поместить в чистую воду, накопившаяся нефть постепенно выделяется из организма моллюска вместе с фекалиями. При этом сравнение углеводородного состава исходной нефти и углеводородов фекалий показало, что происходит преобразование нефти. Углеводороды, полученные из продуктов выделения мидий, отличались от углеводородов исходной нефти большей долей смолисто-асфальтовых фракций и концентрацией в составе масляной фракции ароматических соединений, а также – сдвигом алифатических углеводородов в сторону более тяжелых алканов и изопреноидов.

Значительный интерес представляет взаимодействие мидий с наиболее токсичной нефтяной составляющей – ароматическими соединениями [67]. Ароматические углеводороды определяли методом хромато-масс-спектрометрии.

Результаты исследований показали, что состав ароматических углеводородов нефти изменялся уже после приготовления из нее нефтяной эмульсии (табл. 4.4).

Таблица 4.4 Состав ароматических углеводородов, % суммы

Соединение	Нефть исходная	Нефтяная эмульсия	Фекалии мидий	Псевдофека- лии мидий
Алкилбензолы	32,6	12,6	14,8	10,3
Инданы (тетралины)	23,5	1,04	5,3	0,0
Динафтенбензолы	12,0	3,8	6,8	1,1
Нафталины	11,2	10,4	18,1	8,6
Аценафтенy	1,2	15,2	18,0	18,2
Фенантрены	2,9	16,7	10,3	25,9
Нафтофенантрены	0,5	0,0	0,0	1,3
Пирены	4,4	3,9	2,2	5,2
Хризены	0,0	0,0	0,0	0,0
Бензтиофены	8,7	14,4	15,1	9,1
Нафталинбензтиофены	2,8	0,09	0,37	0,0

В частности, в нефти доминировали моноароматические углеводороды (алкилбензолы, инданы). После смешивания ее с морской водой преобладали соединения с двумя и тремя бензольными кольцами (аценафтенy, фенантрены). Из сероорганических соединений в значительных количествах содержались бензтиофены.

Нефтяную эмульсию с таким составом ароматических углеводородов затем фильтровали мидии, выделяя ее в фекалиях и псевдофекалиях. Для выяснения возможных изменений нефти сравнивали состав ароматических углеводородов нефтяной эмульсии и продуктов выведения мидий. Полученные результаты показали, что по составу ароматических углеводородов они близ-

ки. В частности, в продуктах выведения также доминировали соединения с двумя и тремя бензольными кольцами (см. табл. 4.4). Наибольший процент в фекалиях составляли нафталины, аценафтенy, в псевдофекалиях - аценафтенy и фенантрены. Из сероорганических соединений отмечено относительно высокое содержание бензтиофенов.

В фекалиях (в отличие от псевдофекалий) процент моно- и биароматических углеводов (от алкилбензолов до аценафтенов) несколько выше, чем у нефтяной эмульсии. Возможно, мидии способны концентрировать эти соединения из морской воды. При воздействии нефти и ее растворов на гидробионтов быстрее накапливались и дольше выводились нафталин и его производные, т.е. биароматические соединения. Состав ароматических углеводов в тканях мидий, взятых после шестидневного выдерживания в нефтяной эмульсии, также свидетельствовал о накоплении этих соединений. По-видимому, и в данном случае накопление доминировало над растворением и выведением легких ароматических соединений.

Мидии размером 50 – 100 мм фильтруют от 40 до 140 л в сутки, обладают высокой устойчивостью к всякого рода загрязнению, в том числе и нефтяному. Они могут выживать определенное время при превышении ПДК нефти в морской воде в десятки и сотни раз. Эти свойства моллюсков используются в качестве первого звена системы гидробиологической очистки по удалению из морской воды загрязнения, которые уже попали в акваторию.

Были разработаны, сконструированы и установлены на Черном море в районах Новороссийска, Севастополя и Созополя (Болгария) различные варианты систем гидробиологической санации морских акваторий, рассчитана необходимая мощность гидробиологических систем для оздоровления акватории Большой Ялты и Сакско-Евпаторийского районов.

С целью локализации распространения загрязняющих веществ ливневых стоков и их очистки в бухте Артиллерийская (Севастополь) в 1995 г. была смонтирована гидробиологическая система. Для снижения затрат система монтировалась на сваях существующего причала.

Аналогичного типа система была установлена в нефтегавани Черноморского флота в Севастопольской бухте. Через два года среднее значение фильтрационной активности установки составляло 114 м^3 в сутки на 1 м^2 поверхности, через 3 года – 130 м^3 в сутки на 1 м^2 поверхности. Помимо мидий на коллекторах отмечалось значительное количество асцидий (преобладали колонияльные *Botrillus shlossery*), а также встречались мшанки, полихеты (в основном нереиды), мелкие крабы, креветки, равноногие и разноногие раки. В настоящее время численность мидий (вместе с *Mytilaster lineatus*) на носителях установки составляет 22 100 экз./ м^2 , биомасса $68,9 \text{ кг}/\text{м}^2$, а фильтрационная активность более 300 м^3 в сутки на 1 м^2 . Для сравнения можно указать, что количественные поселения мидий и их фильтрационная активность на

искусственных субстратах (сваи причала) в районе монтажа системы в 2 – 3 раза ниже. В связи с тем, что периодически некоторое количество мидий с носителей падает на дно, в районе монтажа системы образуется достаточно плотное мидийное поселение (до 1000 экз. /м² и более 1600 г /м²). В результате биомасса бентоса здесь в сотни раз выше, чем на прилегающих участках бухты. Кроме того, в процессе фильтрации большая часть взвешенного вещества, находящегося в воде, усваивается мидиями. Остаток, не усвоенный мидиями, попадает на дно. В донных осадках эти вещества, обогащенные выделениями мидий, подвергаются дальнейшему преобразованию со значительно большей скоростью, чем при естественных процессах самоочищения.

В 1993 году введена в строй 2-ая очередь системы гидробиологической очистки в нефтегавани, сконструированная на основе секций сетевого заграждения (разновидность минно-торпедного оружия). В настоящее время процессы самоочищения акватории нефтегавани обеспечиваются в значительной степени за счет перифитонных сообществ искусственных гидробиологических сооружений различных модификаций.

Заключение

Более 30 лет назад была сформулирована научная концепция морской санитарной гидробиологии, которая включала изучение взаимодействия морских организмов и их сообществ с загрязнением как части биосферного процесса трансформации вещества и передачи энергии.

Попадающие в морскую среду загрязнения вступают в сложные взаимодействия с морской биотой. С одной стороны, загрязнение отрицательно влияет на морские организмы и их сообщества, а с другой, гидробионты преобразуют их, разрушая до простых соединений, участвуя, таким образом, в процессе самоочищения и формирования качества морской воды.

Познание роли морской биоты в этом процессе открывает пути целенаправленного использования морских организмов и их сообществ в биомониторинге и в борьбе с загрязнением, в частности, для разработки гидробиологических систем очистки загрязненных морских вод и санации (оздоровления) акваторий.

Севастопольская бухта явилась тем полигоном, где отработывались методы санитарно-биологических исследований с учетом общих прогнозов экологической ситуации в Черном море и в Крымском регионе в особенности.

При интенсивном загрязнении моря естественные процессы самоочищения не в состоянии восстановить качество воды, нарушенное в результате антропогенного влияния. В трансформации загрязнения участвует все сообщество данной акватории, но под его воздействием количество видов и групп снижается и изменяется. Таким образом, только некоторые группы морских организмов смогут трансформировать загрязняющие вещества, особенно если концентрация последних достаточно высока. И лишь после снижения токсичности среды происходит постепенное восстановление всего сообщества, нормализуется его функционирование в общем круговороте веществ.

Один из путей улучшения экологического состояния акваторий и стимулирования процессов естественного самоочищения основан на создании искусственных гидробиологических систем для очистки загрязненных морских вод и оздоровления прибрежных акваторий.

Большинство загрязняющих веществ концентрируется в морской воде на взвешенных частицах. Некоторые из этих частиц, например эмульгированные нефтепродукты, сами являются загрязнителями. Поэтому одним из направлений оздоровления акваторий является удаление из воды взвеси. В этом отношении перспективными могут быть организмы - фильтраторы, например мидии, которые являются первым звеном в гидробиологической санации морской среды.

The conclusion

More than 30 years back were formulated the scientific concept of marine sanitary hydrobiology, which included analysis of interaction of sea organisms and their communities with pollution as parts of biosphere process of transformation of matter and energy transmission.

The pollutions, getting on sea medium, enter complex interactions with a sea biota. On the one hand, the pollution negatively influences on sea organisms and their communities, and with another, the hydrobionts will transform them, blasting up to simple bonds, participating, thus, during a self-cleaning and formation of quality of marine water.

The knowledge of a role of a sea biota of this process opens paths of targeted use of sea organisms and their communities in biomonitoring and in a pollution control, in particular, for mining hydrobiological systems of clearing of the polluted marine waters and sanitation of aquatoria.

The Sevastopol bay was by that polygon, where the methods of sanitary - biological researches with the count of the common forecasts of an ecological situation in the Black sea and in the Crimean region in particular were fulfilled.

At intensive pollution of the sea natural processes of a self-cleaning be not capable to reduce quality of waters broken as a result of anthropogenic influence. All community of the given aquatoria participates in transformation of pollution, but under its influence the quantity of kinds and bunches is reduced and varieties. Thus, only some bunches of sea organisms can transform pollutants, is especial if the concentration last is high enough. And only after a decrease toxication of medium there is a gradual regeneration of all community, his functioning in general circulation of matters is normalised.

One of paths of enriching of an ecological state of aquatoria and stimulation of processes of a natural self-cleaning is based on building of artificial hydrobiological systems for clearing the polluted marine water and improvement of coastal aquatoria.

The majority of pollutants concentrates in marine water on suspended particles. Some of these particles for example emulsified oil products, are contaminants. Therefore one of directions of improvement of aquatoria is the removal from water of suspended substance. In this respect the organisms - filterers, for example mussels can be perspective which are the first part in a hydrobiological sanitation of sea medium.

Перечень сокращений и обозначений:

- pH** - показатель водородных ионов;
Eh, мВ - окислительно-восстановительный (редокс) потенциал;
Натуральная влажность, %масс - количество удерживаемой донным осадком воды;
Сорг, %масс - органический углерод в донном осадке;
Нобщ, %масс - общий азот в донном осадке;
NH₄, мг /100 г сухого осадка - аммонийный азот;
ОВ, %масс - органическое вещество;
Ахл, г /100 г сух. осадка - битумоид, экстрагированный хлороформом;
Схл, г /100 г сух. осадка - связанный с карбонатами битумоид;
НУ, мг /100 г сух. осадка - нефтеуглеводороды, определяемые на инфракрасном спектрометре IR - 75;
УПС, мг /100 г сух. осадка - углеводоподобные органические соединения;
БПС, мг /100 г сух. осадка - белковоподобные органические соединения;
Л, мг /100 г сух. осадка - липиды;
ЛУВК, мг /100 г сух. осадка - липидно-углеводородный комплекс;
УВ, мг /100 г сух. осадка - углеводороды донного осадка, природные и аллохтонные;
Аг, мг /100 г сух. осадка - ароматические углеводороды;
Me-nf, мг /100 г сух. осадка - метано-нафтоновые углеводороды.

Список литературы

1. Авдеева С. У., Миронова Т. О. О накоплении нефти *Acartia clausi* // Биол. науки. – 1981. – № 1.. – С. 45 – 51.
2. Алемов. С. В. Современное состояние макрозообентоса Севастопольской бухты по данным бентосной съемки 1997 г. // Экология моря. – 1999. – вып. 48. – С. 73 – 75.
3. Алемов С. В. *Nereis /Hediste/ diversicolor*: физиология, биология, экология в условиях антропогенного загрязнения / НАН Украины, Ин-БЮМ, Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2000. – 96 с.
4. Алиев А. Д. Кислородное потребление моллюсками при различных концентрациях нефтепродуктов / Изв. АН АзССР. Сер. биол. науки. – 1977. – т. 2. – С. 260 – 264.
5. Алякринская И. О. О поведении и фильтрационной способности черноморских мидий в воде, загрязненных нефтью // Зоол. журн., - 1966. – Т. 45. - № 7. – С.988 – 1003.
6. Алфимов Н. Н., Миронов О. Г. Изучение донных отложений для оценки санитарного состояния акватории // Гигиена и санитария. – 1961. - № 3. – С. 91 – 92.
7. Арнольди Л. В. О некоторых группировках зообентоса в бухтах Черного моря // Природа. – 1939. – № 2. – С. 104 – 106.
8. Арнольди Л. В. Материалы по количественному изучению зообентоса в Черном море. // Тр. ЗИН. – 1939. – 7. – вып. 2. – С. 94 – 113.
9. Артемчук Н. Я. Микрофлора морей СССР. – М: Наука. – 1981. – 190 с.
10. Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды / Миронов О. Г. и др.; Под общ. ред. Миронова О. Г. – Киев: Наук. думка. – 1988. – 248 с.
11. Витюк Д. М. Взвешенное вещество и его биогенные компоненты. – Киев: Наук. думка. – 1983. – 209 с.
12. Витюк Д. М., Добржанская М. А., Супрунов А. Т. Сезонное распределение взвешенного вещества и его минеральной и органической фракций в прибрежном районе Черного моря // Экология моря. – 1976. – вып. 36. – С. 83 – 91.
13. Водяницкий В. А. Записки натуралиста. – М: Наука. – 1975. – 190 с.
14. Дивавин И. А. Сезонная динамика некоторых биохимических показателей у *Callithamnion corymbosum* в природных условиях / Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды. – Киев: Наук. думка. – 1988. – С. 131 – 133.
15. Дивавин И. А., Копытов Ю. П., Цымбал И. М. Сравнительная характеристика распределения основных классов органического вещества

- в Черном и Эгейском морях // Экология моря. – 1989. – вып. 32. – С. 17 – 23.
16. Дивавин И. А., Копытов Ю. П., Цымбал И. М. Органическое вещество в морской воде Черного моря / Молисмология Черного моря. – Киев: Наук. думка. – 1992. – С. 165 – 204.
 17. Добржанская М. А. О содержании брома в морской воде // Тр. Севаст. биол. станции. – 1948. – 6. – С. 360 – 372.
 18. Добржанская М. А. О распределении кремния в Черном море // Там же – С. 372 – 378.
 19. Добржанская М. А. Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) по данным многолетних ежемесячных наблюдений на суточных станциях / Процессы перемешивания и водообмена в море и их влияние на биологическую продуктивность. – Киев: Наук. думка. – 1972. – С. 132 – 138.
 20. Зернов С. А. К вопросу об изучении жизни Черного моря. – Записки Импер. Акад. наук, сер. 8. – 1913. – 32. – № 1. – 283 с.
 21. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря. – Киев: Наукова думка. – 1975. – 248 с.
 22. Кирюхина Л. Н. Эколого-химическая характеристика донных осадков Черного моря // Автореф. дис. ... к. б. н., 1976, Севастополь. – 28 с.
 23. Кирюхина Л. Н. Влияние гранулометрического состава донных осадков на накопление аллохтонных углеводов // Экология моря. – 1982. – вып. 10. – С. 36 – 39.
 24. Кирюхина Л. Н. Физико-химическая характеристика донных осадков. / Молисмология Черного моря. – Киев: Наукова думка. – 1992. – С. 214 – 249.
 25. Кирюхина Л. Н. О роли антропогенного фактора в формировании битумоидов на примере черноморских донных осадков береговой зоны // Экология моря. – 1988. – вып. 28. – С. 87 – 91.
 26. Кирюхина Л. Н. Компонентный состав липидоподобных соединений черноморских донных осадков // Экология моря. – 1992. – вып. 41. – С. 40 – 41.
 27. Кирюхина Л. Н. Гуминовое вещество донных осадков // Экология моря. – 1992. – № 41. – С. 40 – 41.
 28. Кирюхина Л. Н., Георга-Копулос Л. А. Анализ битумоидов в донных осадках методом ИК-спектроскопии // Геологический ж. – 1989. – № 6. – С. 73 – 77.
 29. Кирюхина Л. Н., Губасарян Л. А., Гусева Е. В. Преобразование органического вещества в поверхностном слое загрязненного нефтепро-

- дуктами донного осадка (экспериментальные данные) // Экология моря. – 2001. – Вып. 56. – 96 – 99.
30. Кирюхина Л. Н., Миловидова Н.Ю. Влияние биоценоза *Chamelea gallina* на состав органического вещества донного осадка // Экология моря. – 1989. – вып. 32. – С. 41 – 44.
31. Копп Ф. И. Материалы к методике санитарно-бактериологических исследований в море // Тр. Севаст. биол. станции. – 1948. – 6. – С. 310 – 314.
32. Копытов Ю. П., Миронов О. Г., Цуканов А. В. Влияние некоторых экофакторов на самоочищение морской воды от нефти // Водные ресурсы. – 1982. – № 2. – С. 129 – 136.
33. Кузнецова В. А., Горленко В. М. Влияние температуры на развитие микроорганизмов из заводняемых пластов Ромашкинского нефтяного месторождения // Микробиология. – 1965. – Т. 34. – вып. 2. – С.329 – 334.
34. Кучеренко М. И., Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н. К вопросу о загрязнении и самоочищении морских грунтов // Гидробиол. журн. – 1974. – Т. 10. – № 2. – С. 55 – 59.
35. Методы исследования органического вещества в океане, М.: Наука. – 1980. – 343 с.
36. Методы определения количества клеток микроорганизмов / Практикум по микробиологии. Под ред. Н. С. Егорова. М.: Изд. МГУ. – 1976. – С. 65 – 69.
37. Микромир в морских санитарно-биологических исследованиях./ Под общ. Ред. О. Г. Миронова. – Севастополь: Манускрипт НАНУ. – 1995. – 93 с.
38. Миловидова Н. Ю. Изменение донных биоценозов севастопольских бухт за период с 1913 по 1973 гг. // Биология моря. – 1975. – вып. 35. – С. 117 – 124.
39. Миловидова Н. Ю. Количественная характеристика мидий и митилье-стров гидротехнических сооружений и их роль в самоочищении портовых акваторий // Экология моря. – 1986. – Вып. 23. – С. 78 – 82.
40. Миловидова Н. Ю. Перспективы использования моллюска-фильтратора мидии для очистки балластных вод танкеров / В кн. Биологические аспекты самоочищения и формирования качества воды. – М. Наука. – 1975. – С. 141 – 143.
41. Миловидова Н. Ю., Алемов С. В. Макрозообентос некоторых бухт с различным уровнем нефтяного загрязнения / Деп. в ВИНТИ 23.06.87. – 1987. – № 4529 – В 87. – 21 с.

42. Миловидова Н. Ю., Алемов С. В. Зообентос мягких грунтов Севастопольских бухт и прилегающих районов / Молисмология Черного моря. – Киев: Наук. думка. – 1992. – С. 263 – 281.
43. Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н., Каргополова И. Н. Характеристика зообентоса Севастопольских бухт / Шельфы, природа, ресурсы. – Л.: ЛГУ. – 1976. – С. 76 – 78.
44. Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. Макрозообентос донных осадков фитали юго-западного Крыма // Биология моря. – 1979. – вып. 50. – С. 15 – 24.
45. Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. Черноморский макрозообентос в санитарно-биологическом аспекте / Киев: Наукова думка. – 1985. – 101 с.
46. Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О корреляционных связях между некоторыми абиотическими и биотическими параметрами донных осадков // Экология моря. – 1987. – вып. 25. – С. 81 – 85.
47. Миловидова Н. Ю., Цымбал И. М. Фитообрастания гидротехнических сооружений в портовых акваториях некоторых черноморских бухт // Экология моря. – 1984. – вып. 17. – С. 76 – 79.
48. Миронов О. Г. К вопросу о загрязнении вод Черного моря нефтепродуктами / Динамика вод и вопросы гидрохимии Черного моря. – Киев: Наук. думка. – 1967. – С. 127 – 132.
49. Миронов О. Г. Сгонно-нагонные ветры и некоторые показатели загрязнения морских вод / Океанограф. иссл. Черного моря. – Киев: Наук. думка. – 1967. – С. 60 – 65.
50. Миронов О. Г. Нефтяное загрязнение и жизнь моря / Киев: Наукова думка. – 1973. – 86 с.
51. Миронов О. Г. Наукові основи радянського міжнародного проекту біологічного моніторингу нафтового забруднення Середземноморського басейну / Вісник АН УРСР. – 1978. – № 8. – С. 84 – 87.
52. Миронов О. Г. Санитарно-бактериологическое исследование прибрежной полосы моря / Методы иссл. орг. вещ. в океане. – 1980. – М.: Наука. – С. 284 – 291.
53. Миронов О. Г. Экспериментальное изучение трансформации некоторых компонентов органического вещества в донных осадках / Многолетняя динамика структуры прибрежных экосистем Черного моря. Сб. науч. тр. Кубанского ун-та, Краснодар. – 1984. – С. 47 – 51.
54. Миронов О. Г. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами / Гидрометеоиздат. – 1985. – 127 с.
55. Миронов О. Г. О микрофлоре черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* L. // Микробиол. – 1987. – № 1. – С. 162 – 163.

56. Миронов О. Г. Нефтеоокисляющие бактерии севавтопольских бухт (итоги 30-летних наблюдений) // Экология моря. – 1999. – вып. 48. – С. 87 – 91.
57. Миронов О. Г. Санитарно-биологическое направление исследований акватории контактной зоны «суша – море» // Экология моря. – 2001. – вып. 57. – С. 85 – 90.
58. Миронов О. Г., Георга-Копулос Л. А. О самоочищении морской воды от тяжелых нефтяных фракций // Гидробиол. журн. – 1979. Т. 13. – № 3. – С. 42 – 45.
59. Миронов О. Г., Георга-Копулос Л. А. О самоочищении моря от тяжелых нефтяных фракций // Гидробиол. журн. – 1981. Т. 17. – № 1. – С. 45 – 48.
60. Миронов О. Г., Енина Л. В., Сосновская Р. В., Волков Н. Г. Санитарно-бактериологическая характеристика Карантинной бухты (Севастополь, Черное море) // Экология моря. – 2002. – вып. 59. – С. 66 – 69.
61. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Кучеренко М. И., Тархова Э. П. Самоочищение в прибрежной акватории Черного моря. – Киев: Наук. думка. – 1975. – 141 с.
62. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алемов С. В. Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты // Экология моря. – 1999. – вып. 49. – С. 16 – 20.
63. Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиол. журн. – 1986. – Т. 22. – № 6. – С. 76 – 79.
64. Миронов О. Г., Пиастро В. Б., Сиднев В. Н. К санитарно-биологической характеристике Севастопольской акватории // Гигиена и санитария. – 1965. – № 1. – С. 96.
65. Миронов О. Г., Цымбал И. М. Влияние нефтяного загрязнения на водоросли-макрофиты // Биол. науки. – 1975. – № 5. – С. 53 – 56.
66. Миронов О. Г., Цымбал И. М. Водоросли-макрофиты как элемент гидробиологической системы очистки загрязненных вод / Биол. аспекты нефтяного загрязнения морской воды. – Киев: Наукова умка. – 1985. – С. 124 – 148.
67. Миронов О. Г., Щекатурина Т. Л., Выхристюк Н. И. Ароматические углеводороды в черноморских мидиях // ДАН УССР. – 1986. – серия Б. – № 10. – С. 62 – 63.
68. Миронов О. Г., Щекатурина Т. Л. Об углеводородном составе черноморских мидий // Зоол. Журн. – 1977. – 56. – вып. 8. – С. 1250 – 1252.

69. Миронов О. Г., Щекатурина Т. Л. Углеводороды в морских организмах // Гидробиол. журн. – 1976. – Т. 12. – № 6. – С. 5 – 15.
70. Морозова-Водяницкая Н. В. Материалы к санитарно-биологическому анализу морских вод // Тр. Новоросс. биол. станции. – 1930. – № 4. – С. 163 – 181.
71. Морозова-Водяницкая Н. В. Эпидемическое заболевание морской травы zostеры в Черном море // Природа. – 1939. – № 1. – С. 23 -25.
72. Морозова-Водяницкая Н. В. Фитопланктон в Черном море и его количественное развитие // Тр. Севаст. биол. станции. – 1957. – Т. 9. – С. 3 – 13.
73. Муравьева И. П. Макрофитообрастания молов Севастопольской и Камышовой бухт Крымского побережья Черного моря // Украин. ботан. журн. – 1995. – Т. 52. – № 1. С. 77 – 82.
74. Муравьева И. П. Особенности сезонной динамики макрофитообрастаний на причалах в бухтах Казачья, Артиллерийская и Нефтегавань / Морская санитарная гидробиология. Под ред. Миронова О. Г. – Севастополь: ЭКОСИ – Гидрофизика. – 1995. – С. 13 – 20.
75. Муравьева И. П. Химический состав *Ulva rigida* Ag. из разных по степени загрязнения акваторий Севастополя (Черное море) // Экология моря. – 2002. – вып. 59. – С. 85 – 89.
76. Муравьева И. П. Химический состав зеленой водоросли *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. из обрастаний причалов севастопольских бухт (Черное море) // Экология моря. – 2002. – вып. 60. С. 39 – 43.
77. Муравьева И. П., Миронов О. Г., Ковальчук Ю. Л. Обрастания макрофитов на гидротехнических сооружениях севастопольских бухт / Биоповреждения. Обрастание и защита от него. – М.: Наука. – 1996. – С. 83 – 87.
78. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. Методические указания. – М.: ФСР по гидромет. и мониторинг. окр. среды. – 1996. – 46 с.
79. Определение нефтепродуктов в воде / Руковод. по методам хим. анализа морских вод. Под ред. Орадовского С. Г. – Л.: Гидрометеониздат. – 1977. – С. 118 – 130.
80. Родина А. Г. Методы водной микробиологии. – М. – Л.: Наука. – 1965. – 361 с.
81. Розанова Е. П., Назина Т. Н. Углеводородокисляющие бактерии и их активность в нефтяных пластах // Микробиология. – 1982. – Т. 51. – вып. 2. – С. 342 – 348.
82. Потеряев А. В. Санитарно-биологические исследования на Черном море // Тр. Новоросс. Биол. станции. – 1936. – Т. 2. – № 1. – С. 161 – 164.

83. Романкевич Е. Л. Геохимия органического вещества в океане. – М.: Наука. – 1977. – 256 с.
84. Руководство по химическому анализу морской воды. – Санкт-П.: Гидрометеоиздат. – 1993. – С. 126 – 135.
85. Graf G., R. Schulz, R. Peinert & L.-A. Meyer-Reil. Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow-water station in the Western Kiel Bight// Marine Biol. – 1983. – N 77. – P. 235 – 245.
86. Leahy J. G. & R. R. Colwell. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment/ Microbiological Reviews. – 1990. – N 54. – P. 305 – 315.
87. Lee K. & E. M. Levy. Biodegradation of petroleum in the marine environment and its enhancement. In J. O. Nriagu & J. S. Lakshminarayana (eds.). Aquatic toxicology and water Quality management. – 1989. – Vol. 22. – P. 217 – 243.
88. Traunspurger W. & Carlos Drews. Toxicity analysis of freshwater and marine sediments with meio- and macrobenthic organisms: a review // Hydrobiologia. – 1996. – 328. – P. 215 – 261.
89. Wilm J. L. Use of biomass units in Shannon's formula // Ecology. – 1968. – 44. – N 1. – P. 153 – 156.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Часть I. Санитарно-биологические исследования в акватории Севастополя	8
Глава 1. Микрофлора морской воды	8
Глава 2. Органическое вещество морской воды	20
Глава 3. Геохимическая характеристика донных осадков бухт и локальных участков	28
3.1 Севастопольская бухта. Нефтегавань. Килен-бухта. Артиллерийская бухта – мыс Хрустальный.	30
3.2 Южная бухта	35
3.3 Карантинная бухта	36
3.4 Стрелецкая бухта	36
3.5 Круглая бухта	37
3.6 Камышовая бухта	38
3.7 Казачья бухта	39
3.8 Балаклавская бухта	39
3.9 Сопредельный с бухтами район открытого моря	40
Глава 4. Микробентос бухт и прилегающей акватории	43
Глава 5. Макрозообентос бухт и прилегающего к ним района	47
Глава 6. Экологическое состояние донных осадков бухт в 2000 г.	83
6.1 Физико-химические показатели донных осадков	83
6.2 Микробентос	99
6.3 Макрозообентос	103
Глава 7. Исследование биоты гидротехнических сооружений	118
7.1 Макрозообентос гидротехнических сооружений	118
7.2 Митилиды молов и причалов	130
7.3 Макрофитообрастания молов	138
Часть II. Химический состав гидробионтов и взаимодействие их с нефтяным загрязнением (экспериментальное изучение)	150
Глава 1. Химические показатели водорослей	150
Глава 2. Углеводородный состав мидий	152
Глава 3. Влияние загрязнения на гидробионтов	154
Глава 4. Трансформация загрязнений гидробионтами	161
4.1 Трансформация нефтяного загрязнения бактериями	161
4.2 Преобразование нефти в донных осадках	164
4.3 Трансформация нефтяного загрязнения мидиями и основы гидробиологической системы очистки	168
Заключение.	174
Список литературы.	177

THE CONTENTS

Introduction	5
Part I. Sanitary - biological researches in aquatoria of Sevastopol	8
Chapter 1. microflora of marine water	8
Chapter 2. Organic matter of marine water	20
Chapter 3. The geochemical characteristic of the bottom sediments of bays and local fields	28
3.1 Sevastopol bay. Oilharbour. Kilen - bay. An Artillery bay - cape Crystal.	30
3.2 Southern bay.	35
3.3 Quarantine bay.	36
3.4 Streletskaya bay.	36
3.5 Kruglaya bay.	37
3.6 Kamishovaya bay.	38
3.7 Kazachya bay.	39
3.8 Balaklavskaya a bay	39
3.9 Adjacent to bays area of the open sea.	40
Chapter 4. Microbenthos of bays and adjacent aquatoria	43
Chapter 5. Macrozoobenthos of bays and adjacent to them of area	47
Chapter 6. An ecological state of the bottom sediments of bays in 2000 year	83
6.1 Physical-chemical parameters of the bottom sediments.	83
6.2 Microbenthos.	99
6.3 Macrozoobenthos.	103
Chapter 7. Research of the biota of hydrotechnic constructions	118
7.1 Macrozoobenthoses of hydrotechnic constructions.	118
7.2 Mytilidae of the moles and moorings.	130
7.3 Macrophytae fouling of the moles.	138
Part II. Chemical composition of hydrobionts and interaction them with oil pollution (experimental research)	150
Chapter 1. Chemical parameters of seaweed	150
Chapter 2. Hydrocarbon composition of mussels	152
Chapter 3. Influence of pollution on hydrobionts	154
Chapter 4. Transformation of pollutions by hydrobionts	161
4.1 Transformation of oil pollutions by bacteria.	161
4.2 Transformation of oil in the bottom sediment.	164
4.3 Transformation of oil pollutions by mussels and basis of hydrobiological system of clearing.	168
Conclusion.	174
Literature cited	177

Научное издание

**Миронов Олег Глебович, Кирюхина Людмила Николаевна,
Алемов Сергей Викторович**

**САНИТАРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ
СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ В XX ВЕКЕ**

Подписано в печать 16.05.2003.

Печать офсетная. Формат 60х84 1/16.

Объем печ. л. 11,625, уч.-изд. л. 11,58.

Заказ 27. Тираж 300. Цена договорная.

Отпечатано НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика»
99011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28.