

ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А.О. КОВАЛЕВСКОГО

На правах рукописи

МИРОНОВ ОЛЕГ АНДРЕЕВИЧ

УДК 628.193:666.6:574.5:62-75.77

НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В МАССОВЫХ ОРГАНИЗМАХ
ЗАРОСЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВАСТОПОЛЯ
(ЧЁРНОЕ МОРЕ).

03.02.10 – гидробиология

Диссертация на соискание учёной
степени кандидата биологических наук

Научный руководитель
Миронов Олег Глебович
доктор биологических наук
профессор

Севастополь – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ НЕФТИ В МОРСКУЮ СРЕДУ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИДРОБИОНТОВ С НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	12
1.1. Влияние нефти и нефтепродуктов на морскую биоту.....	15
1.2. Липиды в морских гидробионтах.....	26
1.3. Особенности нефтяного загрязнения в прибрежной зоне моря....	28
РАЗДЕЛ 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	33
2.1. Краткая характеристика района отбора проб.....	33
2.2. Методы отбора проб и первичной обработки материала	35
2.3. Химический анализ собранного материала.....	37
2.4. Микробиологический анализ морской воды.....	39
2.5. Статистическая обработка	40
РАЗДЕЛ 3. НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ АКВАТОРИИ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ.....	43
3.1 Нефтяные углеводороды в морской воде.....	43
3.2. Нефтяные углеводороды в объектах возможного вторичного загрязнения морской воды	44
3.2.1. Донные осадки.....	44
3.2.2. Прибрежные наносы.....	46
3.2.3. Нефтяные углеводороды на поверхности обрастаний гидротехнических сооружений.....	48
РАЗДЕЛ 4. НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В МАКРОФИТАХ И МАССОВЫХ ОРГАНИЗМАХ ЗАРОСЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ	52
4.1. Нефтяные углеводороды в макрофитах.....	52

4.2. Нефтяные углеводороды в моллюсках, обитающих на макрофитах.....	56
4.2.1. Обитатели цистозирры.....	56
4.2.2. Обитатели зостеры.....	62
4.3. Микроперифитон, покрывающий макрофиты.....	64
РАЗДЕЛ 5. ОБЩИЕ ЛИПИДЫ В ОРГАНИЗМАХ, ОБИТАЮЩИХ НА МАКРОФИТАХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВАСТОПОЛЯ.....	75
5.1. Общие липиды в макрофитах.....	75
5.2. Общие липиды в моллюсках, обитающих на макрофитах.....	79
5.2.1. Обитатели цистозирры.....	79
5.2.2. Обитатели зостеры.....	84
5.3. Общие липиды в микроперифитоне с макрофитов.....	85
РАЗДЕЛ 6. НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ И ОБЩИЕ ЛИПИДЫ В ФЕКАЛИЯХ МАССОВЫХ ОРГАНИЗМОВ ЗАРОСЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ.....	93
6.1. Нефтяные углеводороды в фекалиях моллюсков.....	93
6.2. Общие липиды в фекалиях моллюсков.....	95
РАЗДЕЛ 7. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАКОПЛЕНИЕ НУ В МОРСКИХ ОРГАНИЗМАХ, И УЧАСТИЕ БИОТЫ В МИКРОБИОПОТОКАХ НЕФТИ В МОРЕ.....	98
7.1. Влияние липидов и других факторов на накопление НУ в морских гидробионтах.....	98
7.2. Расчёт биологической составляющей микропотока нефтяных углеводородов в зарослевых сообществах через фекалии моллюсков.....	100
ВЫВОДЫ.....	102
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	105

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ИК-спектрометрия – инфракрасная спектрометрия

НРВ – нефтяное ростовое вещество

НУ – нефтяные углеводороды

ПДК – предельно допустимая концентрация

ХЭВ – хлороформ-экстрагируемые вещества

МНК – метод наименьших квадратов

ОЛ – общие липиды

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Углеводороды – наиболее распространённая группа органических соединений в природных водах, они входят в состав всех живых организмов. За миллионы лет в процессе эволюции в природе выработался механизм самоочищения, при котором скорость образования углеводородов соответствует скорости их окисления. Благодаря сбалансированности этого процесса углеводороды не только не оказывали вредного воздействия на морскую среду, но и, как и другие естественные органические соединения, поддерживали её стабильность [115].

Проблема нефтяного загрязнения вод Мирового океана, в том числе и Чёрного моря, возникла лишь в результате хозяйственной деятельности человека. Величина предельно допустимой концентрации (ПДК), существующая в настоящее время для нефтяных углеводородов (НУ) в морской воде, низка и составляет всего $0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, что однако свидетельствует об их высокой токсичности.

Влияние нефти на черноморские организмы и роль гидробионтов в процессе самоочищения морской среды от нефтяного загрязнения обобщены в ряде монографий, в которых в частности приводятся данные о чувствительности к нефти массовых представителей флоры и фауны Чёрного моря, полученные в экспериментальных условиях [2, 18, 92, 100, 140]. Тем не менее, некоторые аспекты этой проблемы, и, прежде всего, касающиеся накопления и выведения нефтяных углеводородов, накопления общих липидов гидробионтами изучены явно недостаточно. И практически не охвачены подобными исследованиями обитатели зарослевых сообществ, равно как и сами макрофиты, особенно в районах с малыми глубинами, где происходит концентрация загрязнений, поступающих как с берега, так и со стороны моря [95, 226].

В Чёрном море обширные подводные заросли образуют водоросль *Cystoseira barbata* (Good. et Wood.) Ag. и морская трава *Zostera noltii* (Hornemann). Здесь находят убежище и пищу многочисленные морские животные, а среди них одними из наиболее массовых являются брюхоногие моллюски *Rissoa splendida* (Eichwald, 1830) и *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778).

Изучение накопления и выведения НУ этими организмами проводилось при их взаимодействии только с высокими концентрациями нефти, причём как в природных условиях, так и в лабораторных экспериментах, тогда как сведения о накоплении ими НУ при концентрации в море близкой к фоновой, каковая наблюдается в прибрежной акватории Севастополя в последнее время, практически отсутствуют. Однако подобная информация нужна при прогнозе отдаленных последствий аварийных разливов нефти, а также при её незначительных поступлениях в море вследствие повседневной хозяйственной деятельности человека.

Решению обозначенных выше проблем и посвящена настоящая работа.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Работа выполнена в отделе морской санитарной гидробиологии Института биологии южных морей НАН Украины при прохождении производственных практик в период обучения в Севастопольском Национальном техническом университете (2007 – 2010 гг.) и последующего обучения в аспирантуре (2010 – 2013 гг.). Исследования выполнялись в рамках фундаментальных исследований по госбюджетным темам Национальной академии наук Украины «Изучение биогеохимических закономерностей формирования потоков радиоактивных, минеральных, органических веществ природного и техногенного происхождения, обусловленного ими экологического риска для популяций критических видов в Чёрном море»: «Потоки нефтяных углеводородов и органических веществ основных классов в акватории контактной зоны «суша море» (№0103

U001050, 2003 – 2007 гг.), «Изучение потоков углеводов аллохтонного происхождения через морские организмы и их сообщества, как основа оценки самоочищения морской среды от нефтяного загрязнения» (№0107 U012026, 2008 – 2012 гг.), «Проведение комплексных экологических, гидробиологических и биотехнологических исследований с целью решения фундаментальных и прикладных проблем постоянного использования ресурсного потенциала, восстановления и сохранения морского биоразнообразия и качества морской среды Азово-Черноморского региона» (№011 U006203, 2010 – 2012 гг.). Экологическая составляющая в системе интегрированного управления прибрежными зонами Азово-Черноморского бассейна (№0113 U003468, 2013 – 2017 гг.). В перечисленных темах соискатель участвовал как исполнитель.

Цель и задачи исследования. Цель работы – изучить накопление НУ массовыми организмами зарослевых сообществ прибрежной акватории юго-западного Крыма (Чёрное море).

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Измерить уровни нефтяного загрязнения морской воды в районах проведения работ и сравнить их с ПДК;
- Проанализировать содержание нефтяных углеводов в возможных источниках вторичного загрязнения морской воды: донных осадках, прибрежных наносах и гидротехнических сооружениях;
- Изучить содержание нефтяных углеводов в массовых организмах, обитающих на макрофитах – *Cystoseira barbata* и *Zostera noltii* в различных участках каменистого и илисто-песчаного дна прибрежной акватории Севастополя;
- Определить содержание общих липидов в массовых организмах зарослевых сообществ в прибрежной акватории юго-западного Крыма;
- Исследовать возможную корреляционную зависимость между содержанием общих липидов и НУ в массовых гидробионтах, обитающих в зарослях *C. barbata* и *Z. noltii*.

- Рассчитать биологическую составляющую микропотока НУ в зарослевых сообществах через фекалии моллюсков.

Объекты исследования – *Cystoseira barbata* (Good. et Wood.) Ag., *Zostera noltii* (Hornemann), микроперифитон, моллюски *Rissoa splendida* (Eichwald, 1830), *Rissoa membranacea* (J. Adams), *Bittium reticulatum* (da Costa, 1778), *Tricolia pullus* L., 1758, *Gibbula divaricata* L., 1758, *Parvicardium exiguum* Gmelin, 1791, Mytilidae, а также фекалии *R. splendida*, *B. reticulatum*.

Предмет исследования – Содержания НУ и общих липидов в организмах зарослевых сообществ прибрежной зоны юго-западного Крыма.

Методы исследования: количество нефтяных углеводородов в морских организмах и морской воде определяли методом ИК спектроскопии, содержание общих липидов – по качественной реакции с фосфованилиновым реактивом. Численность гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий – методом предельных разведений. При статистической обработке применяли метод наименьших квадратов, критерий Стьюдента, корреляционный анализ, тест Диксона и таблица Мак-Креда [133].

Научная новизна полученных результатов. Впервые получены данные по содержанию нефтяных углеводородов и общих липидов в макрофитах *C. barbata* и *Z. noltii*, микроперифитоне, моллюсках (*R. splendida* и *B. reticulatum*, *Tricolia pullus*, *Gibbula divaricata*, *Parvicardium exiguum*, Mytilidae), обитающих на *C. barbata* и *Z. noltii*, в акватории прибрежной мелководной зоны юго-западного Крыма. Впервые установлены количественные характеристики накопления и выведения НУ моллюсками при малых (в пределах ПДК для нефти в морской воде – $0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$) уровнях токсиканта в море. Выявленные зависимости содержания НУ в исследованных морских организмах от уровня содержания в них общих липидов позволяют более корректно оценивать интенсивность процессов накопления и выведения НУ гидробионтами.

Практическое значение полученных результатов. Полученные данные о низких концентрациях нефтяного загрязнения морской воды в

прибрежной зоне юго-западного Крыма должны учитываться в системе экологического мониторинга прибрежных акваторий моря. Данные о содержании НУ и общих липидов в морских организмах, являющихся кормовой базой для обитающих в прибрежных зарослях рыб, можно использовать для последующей оценки возможного накопления последними НУ. Решён ряд методических вопросов, защищенных патентом, что позволяет проводить биомониторинг с наименьшими затратами материальных и временных ресурсов. Подтверждён высокий рекреационный потенциал мелководной прибрежной акватории юго-западного Крыма.

Личный вклад соискателя. Постановка научных задач осуществлялась при участии руководителя; выбор методов, сбор и обработка проб, статистический анализ данных, обобщение полученных материалов выполнены соискателем самостоятельно.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных и региональных научно-практических конференциях по проблемам водных экосистем «Понт Эвксинский V, VI, VII, VIII» (Севастополь, 2007, 2009, 2011, 2013 гг.), Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (Севастополь, 2008 г.), II Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих учених «Актуальні проблеми та перспективи розвитку природничих наук» (Запоріжжя, 2011 г.), 3rd Bi-annual BS Scientific Conference and UP-GRADE BS-SCENE Project Joint Conference Ukraine (Odessa, 2011), Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносовские чтения» (Севастополь, 2012, 2013, 2014), на IV и V Всеукраинском семинарах-совещаниях «Морские берега Украины» (Кацивели, 2011, 2012 гг.), VI международной научной конференции молодых учёных «Биоразнообразие. Экология. Адаптация. Эволюция», посвящённой 150-летию со дня рождения известного ботаника В.И. Липского (Одесса, 2013).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 22 научные работы (18 из них без соавторов), в том числе 8 статей в специализированных научных изданиях, рекомендованных ГАК Украины, а также 1 патент на полезную модель и 13 публикаций в материалах и тезисах международных и региональных конференций. Вклад соискателя в совместных публикациях состоял в участии в сборе материала, статистической обработке данных, обсуждении и написании статей. Из статей, опубликованных в соавторстве, в диссертации использованы только данные, полученные соискателем. Права соавторов публикаций не нарушены.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 разделов, выводов, списка использованных источников, включающего 227 наименований, из которых 67 зарубежных. Общий объём рукописи 130 страниц. Работа содержит 39 рисунков и 10 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю – доктору биологических наук, профессору О.Г. Миронову за руководство, помощь и большое внимание к работе на всех её этапах, к.б.н. С.В. Алёмову – за консультации при определении видового состава моллюсков, сотрудникам научной библиотеки ИнБЮМ за помощь в подборе литературы, всему коллективу отдела морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ – за моральную поддержку, консультативную помощь и критические замечания, высказанные при обсуждении полученных результатов. Особую благодарность автор выражает доктору биологических наук, профессору А.В. Гаевской за ценные советы и рекомендации.

РАЗДЕЛ 1

ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ НЕФТИ В МОРСКУЮ СРЕДУ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГИДРОБИОНТОВ С НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).

Источники поступления НУ в морскую среду можно разделить на природные и антропогенные. К числу природных источников относятся естественные выходы нефти с морского дна, а также эрозионные процессы, приводящие к её просачиванию [172, 196].

Важнейшими антропогенными источниками загрязнения нефтью Мирового океана являются добыча нефти на шельфе [61, 196, 199, 204], её транспортировка [172], а также судоходство [206]. Эти виды хозяйственной деятельности человека нередко сопровождаются аварийными ситуациями, [21, 130, 134, 143, 161, 168, 172, 173, 178, 179, 200, 203, 209]. Известно, что ежегодные объёмы мировой транспортировки нефти танкерами оцениваются примерно в 2 млрд. т в год [20]. При этом 0,03% транспортируемой нефти и нефтепродуктов, теряется по различным причинам.

Современное нефтяное загрязнение моря формируется в значительной мере за счёт малых разливов и утечек нефти при обычных (эксплуатационных) операциях в процессе добычи и транспортировки углеводородов, нелегальных сбросов льяльных вод с судов, а также при всех видах прибрежной и морской деятельности [10, 32, 103, 105, 126].

На Чёрном море нефтяное загрязнение до настоящего времени не достигало масштабов экологических катастроф. Однако национальные интересы черноморских государств могут внести существенные коррективы в экологическую обстановку на Чёрном море. В ближайшие 5-10 лет ежегодный объем нефтеперевозок в Чёрном море может увеличиться до 220-250 млн. т. При самом приблизительном подсчёте при технологических

утечках, которые оцениваются в 0,01 % от объёма транспортируемых углеводородов, в морскую среду может поступать ежегодно около 20 тыс. т нефтепродуктов. Это – без учета аварийных ситуаций, при которых залповое поступление нефти может значительно превышать технологические потери [55]. К примеру, в Новороссийской бухте в мае 1997 г. в результате аварии на морском терминале «Шесхарис» вылилось 172 т сырой нефти, в Керченском проливе в ноябре 2007 г. – 1300 т нефтепродуктов с площадью покрытия более 100 км² [50, 134, 143, 201, 219].

В воды Чёрного моря нефть поступает главным образом с речными и ливневыми стоками в количестве около 111 тыс. т в год [165]. В 1998 – 2007 гг. только в прибрежную зону Чёрного моря в среднем ежегодно поступало около 500 т нефти, в том числе около 38 % - при грузовых операциях на причалах и аварийных разливах, 22 % - в результате сбросов нефти с судов, 17 % –с речными водами, 11% - с промышленными сточными водами, 6 % - из атмосферы, 5 % - с ливневыми водами населенных пунктов, 1,0 % - в результате естественного выхода из недр [122]. По другим данным, вклад судоходства в общий антропогенный поток нефти в Чёрное море гораздо выше и колеблется от 10 до 60 % [39].

В последние годы благодаря использованию космических средств для масштабного радиолокационного мониторинга акватории Чёрного моря удалось выявить тесную корреляцию расположения нефтяных пятен с трассами интенсивного судоходства и транспортировки нефти [34, 40, 166]. Так, по результатам наблюдений в северо-восточной части Чёрного моря в 2004 г. были идентифицированы девять крупных разливов площадью от 2 до 60 тыс. км², которые, по мнению авторов, связаны с промывкой нефтяных танков и сбросом балластных вод. Относительно устойчивые нефтяные пятна тяготели к судоходным трассам (Босфор – Новороссийск), а также к акваториям портов и Керченскому проливу.

Вместе с тем, международные организации отмечают низкую готовность черноморских стран к реагированию на крупные нефтяные разливы [31, 166].

О роли ливневых стоков в нефтяном загрязнении прибрежных вод свидетельствует, например, тот факт, что с 1 км² площади городской застройки в Севастопольскую бухту с ливневыми стоками ежегодно поступает 1,2 т нефтепродуктов [25].

При попадании нефти и нефтепродуктов в море сразу же начинается цепь их сложных взаимодействий с морской средой, среди которых различают две группы взаимосвязанных процессов:

- перенос нефти на поверхности и в толще воды (растекание, дрейф, седиментация, затопление) [24, 40, 175];
- процессы выветривания, в ходе которых меняются физические и химические свойства нефти (испарение [155, 163, 174], растворение [125, 163, 196], диспергирование, эмульгирование [206], химическое окисление, биodeградация [42, 60, 92, 136, 196]).

У нефти есть ещё одно неприятное побочное свойство. Углеводороды нефти способны растворять в себе ряд других загрязняющих веществ, таких, как пестициды, тяжелые металлы, которые вместе с нефтью концентрируются в приповерхностном горизонте моря и ещё более отравляют его. Ароматическая фракция нефти содержит вещества мутагенной и канцерогенной природы, например бенз-а-пирен. Сейчас получены многочисленные доказательства наличия мутагенных эффектов загрязненной морской среды. Бенз-а-пирен активно циркулирует по морским пищевым цепочкам и попадает в пищу людей [35].

С процессами, происходящими в водной среде, неразрывно связаны морские донные осадки. Являясь конечным этапом в процессах осаждения/накопления всех загрязнителей из водной толщи, донные отложения в виду определённой химической консервативности надолго сохраняют «память» о произошедших воздействиях, представляя, таким

образом, возможность широкого выбора показателей, как для характеристики состояния среды, так и для оценки её самоочищающего потенциала. Следовательно, анализ донных осадков любого водоёма может служить надежным индикатором регионального загрязнения акватории, в том числе и нефтепродуктами [52, 139, 118].

К тому же, донные осадки сами могут явиться вторичным источником загрязнения морской воды. Элементы вторичного загрязнения могут переноситься водой в зону непосредственного контакта моря с берегом, загрязнять прибрежные наносы и вновь смываться в береговую мелководную акваторию.

Известно, что распределение углеводородов в донных осадках зависит от их гранулометрического состава. В местах массированного поступления нефтепродуктов содержание углеводородов в илистых донных осадках резко увеличивается, как в пересчёте на сухой осадок ($>1000 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), так и в составе органического вещества ($> 5\%$) [116].

Органическое вещество донных осадков находится в сложных взаимосвязях с населяющими его бентосными организмами. Накопление в донных осадках органических веществ антропогенного происхождения, включая нефть и нефтепродукты, приводит не только к изменению качественного и количественного состава донных сообществ, но и к ухудшению санитарно-гигиенического состояния акватории [11].

В этой связи анализ процессов, происходящих в донных осадках, поможет прогнозированию воздействия этого источника НУ на организмы, обитающие в толще морской воды, в том числе и среди макрофитов.

1.1. Влияние нефти и нефтепродуктов на морскую биоту

Ключевым моментом эколого-токсикологической характеристики нефти как загрязняющего вещества в море является двойственный механизм её биологического действия [126]. С одной стороны, за счёт присутствия

токсичных углеводов и их частичной растворимости в воде нефть выступает в качестве токсиканта, способного проникать в водные организмы и отравлять их. С другой стороны, нефть является вязким гидрофобным субстратом с адгезивными свойствами и потому способна налипать на любые поверхности, в том числе и на поверхность живых организмов [153].

Проявление токсических свойств нефти и её вредного воздействия на морскую биоту возможно лишь при определённых условиях и ситуациях: прямой контакт, биосорбция, заглатывание, биофильтрация, ингаляция [7, 126].

В качестве меры биодоступности токсиканта иногда используют величину коэффициента накопления в организмах, т.е. отношение концентрации токсиканта в тканях гидробионтов к его концентрации в воде [124].

В последние годы все шире применяется моделирование для описания процессов загрязнения морской среды нефтяными углеводородами и их последующего преобразования. Именно по модельным расчётам охарактеризованы изменения в течение года концентрации углеводородов нефти, биомасс нефтеокисляющих бактерий, показателей их окислительной активности и биопродукции, а также внутренние потоки углеводородов нефти (поступления из различных источников, перенос по вертикали и горизонтали, биотрансформация) разных районов Каспийского моря [65]. Аналогичные работы, в частности по биотрансформации нефтяных углеводородов, проводились в Каркинитском заливе Чёрного моря [66] и в водах Татарского пролива Японского моря [67].

Несмотря на большое значение углеводов в жизни морской биоты, их изучение в эколого-биохимическом плане ещё не получило должного развития и многие аспекты данной проблемы практически не освещены в литературе. Это приводит к трудностям оценки взаимодействия морской биоты с углеводородными веществами. Вместе с тем установлено, что величина предельно допустимой концентрации (ПДК), существующей в

настоящее время для нефтяных углеводородов (НУ) в морской воде, составляет всего $0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Сравним с ПДК тяжёлых металлов, таких как свинец – $0,03$, кадмий – $0,001$ и ртуть – $0,0005 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$.

Тема влияния нефти на морские организмы широко освещена в литературе [5, 45, 71], включая монографические обобщения [92, 124, 126], и поток информации в этом направлении продолжает расти. При сравнении данных по действию нефти на организмы разных групп довольно трудно расположить эти группы в закономерный ряд изменения токсикорезистентности. Лишь в порядке общей тенденции можно отметить снижение чувствительности организмов в следующей последовательности: одноклеточные водоросли – ракообразные – рыбы – моллюски – макрофиты. Аналогичное сопоставление, но с учетом эффектов в зоне пороговых концентраций и на ранних стадиях онтогенеза, ещё более затруднено. Пороговые эффекты и реакции на ранних этапах индивидуального развития организмов разных групп начинают проявляться в довольно узком диапазоне уровней содержания нефти в среде – около 10^{-2} - $10^{-1} \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ [53].

Кратко рассмотрим влияние нефти на массовые черноморские организмы, в частности те, которые, как будет показано дальше, мы использовали в настоящей работе.

Бактериальные сообщества. С одной стороны, нефть является материальным и энергетическим субстратом для микроорганизмов, с другой – она широко применяется для борьбы с болезнетворными бактериями и, по-видимому, отрицательно влияет на некоторые бактериальные популяции в море [92].

Ещё в начале 1940-х годов Зо-Беллом с соавторами было установлено, что в морской воде широко распространены бактерии, способные окислять сырую нефть, продукты переработки нефти и многие чистые углеводороды [227]. Во второй половине 20-го столетия в отделе морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ были начаты интенсивные исследования морских нефтеокисляющих микроорганизмов, в результате которых выявлены

закономерности распространения, численности и биохимические особенности этой группы микроорганизмов в Тихом, Индийском, Атлантическом океанах и прилегающих к ним морям. Таким образом, было создано новое направление в морской микробиологии [90, 91, 94, 96, 189, 190, 191]. Особенно подробно в этом отношении изучалось Чёрное море и моря Средиземноморского бассейна. В начале нынешнего столетия эти работы были продолжены исследованием роли аэробных [74] и анаэробных [15] бактерий в трансформации нефтяных углеводородов и изучением микофлоры (в частности дрожжей) систем гидробиологической очистки морских вод, прежде всего, в Севастопольской бухте [30].

На интенсивность окисления углеводородов существенно влияет их способность к дисперсии или растворимости в воде. Поскольку большинство жидких и твёрдых углеводородов слабо растворяются в воде, их использование микроорганизмами зависит от степени эмульгирования, адсорбции на твёрдых телах и т. д. [92, 217, 220].

Биохимическое (микробиологическое) воздействие бактерий и других микроорганизмов на компоненты нефти гораздо шире и охватывает самые разнообразные вещества по сравнению с процессами испарения и растворения. Однако какого-либо одного микроорганизма, способного разрушить все составляющие сырой нефти не существует. Бактериальное воздействие характеризуется высокой селективностью, и полное разложение всех компонентов нефти требует воздействия многочисленных бактерий различных видов [48, 92]. При этом образуется ряд промежуточных продуктов окисления нефти и нефтепродуктов, для разрушения которых требуются свои микроорганизмы. Наиболее легко разлагаются бактериями парафиновые углеводороды, а более стойкие циклопарафиновые и ароматические углеводороды исчезают из океанской среды с гораздо меньшей скоростью [92].

Экологическое значение бактерий как разрушителей углеводородов нефти в море очень велико, поскольку более высокоорганизованные формы

организмов не могут осуществлять их полную деструкцию [206]. В прибрежной акватории, постоянно загрязняемой нефтью и нефтепродуктами, формируются специфические сообщества гетеротрофных микроорганизмов, которые обладают широким спектром окисления углеводов и продуктов их трансформации [96]. Видовой состав и численное соотношение видов в таких микробных консорциумах постоянно меняется. Однако ядро последних неизменно составляют нефтеокисляющие и нефтеустойчивые бактерии [137].

Функциональная активность гетеротрофного бактериопланктона, выделенного из естественного сообщества Севастопольской бухты, показала, что в зимнее время прирост биомассы гетеротрофов идет за счёт бактерий, способных окислять НУ. Высокий коэффициент удельной суточной продукции гетеротрофных бактерий, способных утилизировать НУ, указывает на постоянное присутствие в акватории Севастопольской бухты нефтепродуктов и адаптированность гетеротрофной микрофлоры к их утилизации [111].

Простейшие. Известно, что на деятельность бактерий влияют простейшие, например, инфузории-бактериофаги. Выедание бактерий простейшими в бактериальной продукции может превышать 100%, то есть потребляется не только бактериальная продукция, но и биомасса бактерий [147]. Это может стимулировать развитие бактериального сообщества, в том числе и нефтеокисляющих бактерий. Помимо регулирования численности нефтеокисляющих микроорганизмов, простейшие могут захватывать мельчайшие капельки нефти, а затем передавать их дальше по пищевой цепи [131].

Работы по влиянию нефти на массовые формы инфузорий Чёрного моря были проведены в 70-е годы прошлого столетия [92]. В настоящее время начался новый этап в изучении взаимодействия черноморских инфузорий с нефтяными углеводородами [131, 132]. Аналогичные работы проводятся и на пресных водоёмах [47].

Микрофитобентос. Большой объём работ по изучению влияния нефти и нефтепродуктов на черноморские микроводоросли как в естественных, так и в лабораторных условиях был выполнен на Чёрном море в шестидесятых годах XX столетия. Было показано, что бенто-планктонный вид диатомовых водорослей *Melosira moniliformis* (O. Mull.) Ag., 1824) устойчив к нефтяному загрязнению и является доминирующим в микроперифитоне акватории портов, интенсивно загрязненных нефтяными углеводородами [89]. В эксперименте более чем с десятью видами культур микроводорослей выяснилось, что планктонные виды более чувствительны к этому токсиканту, чем бенто-планктонные. Разница в чувствительности к нефтяному загрязнению отдельных видов одноклеточных водорослей доходит до нескольких порядков величин – от 1,0 до 0,001 мл · л⁻¹ нефтепродуктов [101].

Заметим, что одноклеточные водоросли составляют основу микроперифитона и являются показателем состояния морских экосистем.

Некоторые соединения, получаемые из нефти, например, нефтяное ростовое вещество (НРВ), оказывают стимулирующее влияние на растительные объекты. Интерес к НРВ может возникнуть в связи с попыткой удобрения ограниченных участков морских акваторий, а также с подбором средств для культивирования микроскопических водорослей. Однако экспериментально установлено, что ингибирующие и стимулирующие концентрации НРВ находятся в весьма близких диапазонах, что, таким образом, может ограничить его применение в морских условиях [101]. Аналогичные результаты были получены для некоторых видов планктонных водорослей Чёрного моря [37].

Макрофиты. А.А. Калугина-Гутник [44] отмечала, что в Чёрном море такие водоросли, как филлофора, цистозира и цветковое растение zostера образуют обширные подводные заросли. Общеизвестна значимость морских макроводорослей как продуцентов органического вещества, а также мест размножения и обитания многих беспозвоночных и рыб. Вместе с тем

данные по влиянию нефти и нефтепродуктов на черноморские макрофиты отрывочны и весьма противоречивы.

Нефть является комплексным неспецифическим токсикантом, воздействующим на все стороны жизнедеятельности водорослей, начиная с субклеточного и клеточного уровня и заканчивая популяционными и межвидовыми взаимодействиями организмов. Ответная реакция макрофитов на высокие концентрации нефти и нефтепродуктов может выражаться в уменьшении видового разнообразия, продолжительности жизни, скорости роста и фотосинтеза у взрослых особей, а также в подавлении развития спор, гаметофитов и проростков. Влияние нефти в малых концентрациях может быть положительным для одних водорослей и отрицательным для других. Различные формы нефти (растворенная, эмульгированная, плёночная) вызывают различный по продолжительности отклик макроводорослей на стрессовое воздействие. Действие нефти является видоспецифичным для морских макрофитов. Степень воздействия компонентов нефти зависит от факторов среды. В целом сообщество макроводорослей довольно устойчиво к воздействию данного фактора, что достигается путем определённых перестроек как на микроуровнях отдельной особи, так и на макроуровнях всей прибрежной экосистемы [70, 145].

Показано, что эмульгированная нефть может налипать на талломы водорослей, приводя к их утяжелению и обрыву, при этом часто наблюдается обесцвечивание талломов. Благодаря развитой поверхности на талломах макрофитов накапливается большое количество нефти, которая может проникать внутрь растения [4], однако у макрофитов со слизистым талломом налипания нефти не происходит [112]. Исключение составляют водоросли, обросшие моллюсками.

Чёткое объяснение механизма проникновения углеводородов нефти в клетку макроводорослей в настоящее время отсутствует. Сообщается, что нефтеуглеводороды способны разрушать клеточную мембрану, замещая мембранные липиды и увеличивая её проницаемость [207]. В то же время НУ

способны накапливаться в клетке до определенного предела без видимых следов повреждения растения в целом. Такой эффект наблюдается преимущественно у тех макроводорослей, которые длительно находились в среде, загрязненной нефтепродуктами [92, 102].

Исследователи отмечают, что состав суммарного органического вещества *Ulva rigida* Ag. и *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link при нефтяном загрязнении изменяется в сторону увеличения доли белковоподобных и липидно-углеводородных соединений, но при этом уменьшаются доли углеводов и суммы пигментов [106, 107]. Как известно, углеводы являются конечным продуктом фотосинтеза.

Макроводоросли способны накапливать не свойственные им углеводороды, например, изопреноиды [225]. Предполагается, что водоросли могут включать углеводороды нефти в собственный метаболизм [11]. Данное обстоятельство, возможно, объясняет тот факт, что невысокие концентрации сырой нефти и ее низкомолекулярные компоненты способны в определённой степени стимулировать рост водорослей, что, таким образом, не исключает регуляторной функции нефтеуглеводородов как факторов роста [135]. Определённую роль играют, по-видимому, и металлы, содержащиеся в нефти и выполняющие функцию микроэлементов [177].

Однако взаимодействие макроводорослей с НУ гораздо сложнее, что связано с физиолого-биохимической активностью макрофитов.

Морские макрофиты также способны выделять в морскую среду разнообразные экзометаболиты, подчас в довольно значительных количествах, что стимулирует или подавляет развитие фитопланктона и микроперифитона [49]. Иными словами, макроводоросли создают вокруг себя определенную среду, формируя и контролируя видовой состав, динамику роста и численность организмов, находящихся в ней, в том числе и нефтеокисляющих бактерий [151].

Нефтеокисляющие бактерии, расщепляя нефтеуглеводороды и включая их в свой метаболизм, также выделяют в окружающую среду

определенный спектр веществ, которые в значительной степени способны стимулировать развитие макроводорослей [224].

Среди черноморских водорослей максимальное количество бактерий, проявляющих липолитическую активность, обнаружено у зелёных водорослей рода *Cladophora*, у других макрофитов соотношение липолитических и нелиполитических штаммов бактерий составляло 1 : 1 [114].

Что касается морских трав (например, *Zostera marina* L., 1753), заросли которых часто изобилуют на закрытых от волн и хорошо освещённых участках песчаного дна, то они в целом достаточно устойчивы к воздействию нефти [4, 215, 223]. Причина такой устойчивости, скорее всего, объясняется тем, что морские травы размножаются с помощью хорошо разветвленной и далеко уходящей от стеблей корневой системы, которая более или менее защищена от действия нефти слоем донных осадков. Однако относительная толерантность морских водорослей и трав к нефтяному загрязнению не исключает уязвимости тех многовидовых сообществ зообентоса, для которых макрофиты являются источником пищи и местом убежища, поскольку заросли водорослей и трав обычно приурочены к мелководным участкам прибрежной зоны, защищённым от прямого воздействия штормов и волн. Поэтому при заносе в такие участки нефть надолго аккумулируется там, повышая риск поражения всех представителей морской биоты, обитающих в зарослях макрофитов [14, 139].

Так, исследованиями, проведенными на Новороссийской биологической станции еще в 1970 – 1980-е годы, установлены изменения в распределении некоторых видов животных и растений при загрязнении вод нефтью в районе Новороссийской бухты [154].

В Таманском заливе морские травы являются важнейшим структурным компонентом морской экосистемы (в частности нерестилищами рыб) и производителями органического вещества. Вдоль всего российского побережья Чёрного моря это, по-видимому, единственное место, где массово

встречается zostера. После аварии танкера «Волгонефть – 139» 11 ноября 2007 г. и разливе мазута здесь обнаружены признаки заболевания (т.н. wasting disease) морской травы, что может привести к массовой гибели морских лугов [121].

Макрозообентос. Бентосные сообщества, как правило, отличаются достаточно сложной видовой и трофической структурой и включают в себя не только донную фауну, но и крупные прикрепленные водоросли и морские травы. В условиях хронического нефтяного загрязнения происходят перестройки донных сообществ в сторону обеднения видового состава при заметном снижении индекса видового разнообразия. Причиной этих перестроек являются различия в чувствительности разных представителей донной фауны на повышенные концентрации нефтяных углеводородов [126]. При этом существенное значение имеет и сама концентрация НУ.

К примеру, моллюск *Cerastoderma* при концентрации нефти $5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ гибнет через 13 сут, а при концентрации нефти $10 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ – уже через 2-е [154].

Среди всех групп морского зообентоса наибольшей устойчивостью к действию нефти отличаются некоторые виды полихет, нематод и двустворчатых моллюсков [19, 104, 92, 163, 170, 212].

Наибольшее число публикаций, отражающих результаты изучения влияния нефти на морские организмы, касается двустворчатых моллюсков, которые фильтруют большие объемы воды, поглощая углеводороды нефти в растворенном виде или в виде суспензированных частиц и диспергированных нефтяных капель. Максимальное содержание НУ в двустворчатых моллюсках, подвергнутых воздействию нефти в лабораторных или полевых условиях, составило около $300 - 400 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ [195]. Значительную роль в биопереносе нефтяного загрязнения играет массовый моллюск Чёрного моря – мидия, которая может нормально функционировать в морской воде с нефтью, концентрация которой в десятки раз превышает ПДК [92, 144, 159].

Накопление углеводородов мидиями зависит от факторов: степени их исходного загрязнения углеводородами нефти; физиологического состояния,

связанного с отсутствием (недостатком) питательных веществ; химического спектра углеводов в нефтях и нефтепродуктах. Моллюски способны продолжительное время сохранять в своём теле нефть [46, 62, 63, 108, 158]. Данная способность мидий широко используется в биомониторинге природных вод [162, 167, 176, 197, 211, 216, 221, 222].

Связанная мидиями эмульгированная нефть осаждается в виде фекалий и псевдофекалий на дне водоёма [41], где процессы деструкции идут гораздо медленнее, чем в толще воды.

НУ, прошедшие через мидий и связанные в псевдофекалиях, в дальнейшем трансформируются микробным сообществом, аналогично тому, как это происходит в воде или донных осадках [92]. Однако в последнем случае в процесс вмешиваются другие организмы бентоса, которые могут значительно изменить поток нефтяного загрязнения [2].

При этом, проходя через организм мидий, НУ претерпевают более глубокие качественные и количественные изменения по сравнению с трансформацией нефти в морской воде.

Учитывая важное экономическое и средообразующее значение мидий, различные аспекты взаимодействия этих моллюсков с нефтяными углеводородами широко освещаются в литературе. В многочисленных публикациях показано влияние НУ на биоэнергетику и выживаемость мидий, их физиологическое состояние, иммунную систему, развитие патологий на клеточном и тканевом уровнях и т.д. [164, 169, 181, 182, 183 – 185, 192 – 194, 205, 208, 214]

К примеру, после аварии танкера «Волгонефть – 139» 11 ноября 2007 г. в водах Таманского полуострова у обитающих здесь мидий отмечены многочисленные патологии, а сами моллюски находились в состоянии физиологического стресса [121]. По мнению цитируемых авторов, накопление значительного количества НУ, в том числе канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в моллюсках и других кормовых организмах неизбежно приведет к их переносу по пищевым цепям

и накоплению в организмах высших трофических уровней – рыб, птиц, морских млекопитающих и человека.

Некоторые исследователи подчёркивают особую уязвимость к действию нефти брюхоногих моллюсков. Это может быть связано не только с острым токсическим действием нефти, а также ухудшением кормовой базы моллюсков, но и с нарушением способности гастропод прикрепляться к твёрдым субстратам [129, 212]. Отмечено, например, что в загрязнённых бухтах моллюски из рода *Rissoa* достигают гораздо меньших размеров, иногда в 2 раза, чем в чистых [156]. Соответственно с уменьшением размеров риссой уменьшается и их плодовитость. Экспериментально установлено, что *Rissoa* sp., обитающая в прибрежных водах Севастополя, более чувствительна к нефтяному загрязнению, чем другие гастроподы [92]. В акватории юго-западного Крыма представители рода *Rissoa* являются одним из доминирующих в биоценозе бурой водоросли цистозиры и относятся к числу наиболее значимых компонентов питания многих прибрежных рыб.

Учитывая сказанное, а именно высокую численность риссои и её чувствительность к нефтяному загрязнению, данный вид гастропод может быть использован для изучения влияния НУ на обитателей прибрежных зарослевых биоценозов.

1.2. Липиды в морских гидробионтах

Некоторые авторы считают липиды предшественниками нефтяных углеводородов [1, 13, 142]. В то же время в органической химии углеводороды рассматривают базовыми соединениями, все остальные органические соединения – как их производные. Углеводороды, к примеру, составляют 7 – 12 % массы липидов морских диатомовых водорослей [8]. Благодаря липофильным свойствам, углеводороды в наибольшей степени

накапливаются в жизненно важных органах с высоким содержанием липидов, таких как мозг, печень и гонады [64].

Липидные компоненты участвуют во всех важнейших физиолого-биохимических процессах биоты [3, 33, 43, 51, 56, 150, 152, 213]. Известно, что устойчивость организма к различным воздействиям в значительной степени определяется особенностями липидного обмена [210, 218].

В ответ на стрессовое воздействие внешних факторов, в гидробионтах изменяется метаболизм, что может отразиться на липидном составе организма [56, 113]. Важную роль в адаптациях организма к изменяющимся факторам среды обитания играют липиды клеточных мембран [56]. Стрессовые воздействия влияют на состав мембранных липидов, что вызывает изменения в физических свойствах мембран (главным образом микровязкости), направленные на поддержание их оптимальной структуры [198].

Липиды в морских организмах мы рассматриваем как единый липидно-углеводородный комплекс, на который оказывает влияние нефтяное загрязнение. Изучение липидов в обитателях моря представляет интерес в связи с нефтяным загрязнением, возможностью накопления НУ в липидах и трудностью индикации углеводов автохтонного и аллохтонного происхождения. Важность подобных исследований подчёркивает следующий пример.

В Азовском море в последние годы на фоне уменьшения загрязнения и значительного увеличения биомассы организмов, продуцирующих углеводороды, доля биогенных углеводородов (2000 - 2006 гг.) возросла по сравнению с предыдущими периодами (1985 - 1999 гг.) в 3,3 раза [141]. Это может влиять на оценку нефтяного загрязнения Азовского моря [50].

1.3. Особенности нефтяного загрязнения в прибрежной зоне моря

Экологическое состояние прибрежных вод в значительной степени связано с береговой зоной [17, 38, 157].

Береговая зона связывает прибрежные пространства суши с подводной окраиной материка, ближайшей к суше частью которой является шельф. Действующие здесь процессы, явления, факторы (формы рельефа, характер образующихся отложений, формы экономического использования берегов и др.) весьма своеобразны и могут служить источниками и причинами загрязнения и степени самоочищения моря [58, 119, 160, 202].

Прибрежная зона моря, не превышающая по площади 10 % от всей морской акватории, отличается от его открытых районов повышенной биологической продуктивностью, высоким рекреационным потенциалом и является объектом активной хозяйственной деятельности человека. Важная роль в техногенном воздействии принадлежит углеводородным энергоносителям, которые являются источником загрязнения прибрежных вод, почвы и атмосферного воздуха [28, 29, 59, 97, 126]. Р. П. Круглякова с соавторами также подчёркивают, что самым отрицательным следствием экономической деятельности человека в береговой зоне морей и океанов считают загрязнение прибрежных вод, прибрежной полосы суши (включая пляжи) и воздушного бассейна [57].

В прибрежной зоне наиболее интенсивные процессы взаимодействия биотических и абиотических факторов осуществляются на границе сред «вода – субстрат – воздух», где формируются сообщества контуробионтов, описанные Ю.П.Зайцевым [226]. Эта зона особенно уязвима при аварийных ситуациях, в том числе, при нефтяных разливах. Например, после разлива нефти в Керченском проливе 11 ноября 2007 г. был сделан вывод, что загрязнение в любом участке побережья Керченского п-ова, автоматически

влечёт за собой загрязнение, если не всей береговой линии, то, в любом случае, соседних близлежащих участков на расстоянии не менее 50 км [146].

Относительная замкнутость системы морских мелководий делает её особенно уязвимой как в отношении нарушения экологии гидробионтов, так и в отношении биоаккумуляции веществ, опасных для человека [128].

Степень оценки негативного воздействия нефтепродуктов на береговую зону определяется системой индексов ESI (Environmental Sensitivity Index), впервые предложенной в 1976 г. [180]. Индекс ESI — индекс экологической чувствительности — это базовая интегральная оценка восприимчивости побережья к нефтяному загрязнению. В основе ранжирования лежит качественная и количественная характеристика побережья, т.е. связь между строением, структурой берега и физическими процессами, происходящими при попадании нефти на берег. К примеру, берега на большей части севастопольского побережья (41 %) имеют достаточно высокий по международной шкале ESI индекс чувствительности – 5 и 6 [138]. Берега с индексами 1 и 2 в сумме составляют около 38 % общей протяженности береговой линии, с индексами 3 и 4 – 10 % берегов, с индексом 7 – 11 %. Таким образом, здесь доминируют два типа берегов с прямо противоположной способностью к самоочищению от нефти. Это – берега с индексами 1 и 2, где в случае разливов нефти за счет волнового смыва и других природных процессов нефть удаляется в течение нескольких недель, и берега с индексами 5 и 6, где нефть быстро проникает в отложения и может сохраняться в них годами. В целом НУ занимают доминирующую позицию среди многочисленных и разнообразных по происхождению загрязнителей морской среды в Севастопольской бухте [100, 117].

Об уровнях загрязнения прибрежных наносов при малых концентрациях нефтяных углеводородов в морской воде известно мало. Представление о них можно найти в работе [36]. Автором рассчитана средняя площадь сечения молекулы нефтяных углеводородов, которая составила $(5,529 \pm 0,286) \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$, а также количества нефтяных

углеводородов в мономолекулярном слое в прибрежных наносах различного гранулометрического состава. Наибольшее количество НУ содержится в песчаных наносах, сложенных частицами размером 2 – 4 мм, и в илах, т.е. во фракциях, имеющих наибольшую удельную площадь поверхности.

При этом следует подчеркнуть, что в цитируемых выше работах как в естественных, так и в лабораторных экспериментах изучалось накопление и выведение нефтяных углеводородов в концентрациях, намного превышающих ПДК. В то же время изучение этого процесса при близких к фоновым концентрациям углеводородов в морской воде практически не проводилось.

Изучение накопления и выведения загрязняющих веществ является одним из необходимых элементов для построения баланса поллютантов в водоёме и оценки его самоочищающей способности. Однако в уравнении баланса нефтяных углеводородов в водах Чёрного моря [26] из биологических компонентов, к сожалению, учитывается только микробиологическая составляющая потока нефтепродуктов через морскую биоту.

Сложность химического строения нефти, наличие углеводородов биогенного происхождения в морской среде, многообразие форм взаимодействия биоты с нефтяным загрязнением ограничивают возможность количественной характеристики потоков нефтяного загрязнения, проходящих через морские организмы, которые не всегда поддаются учету [98]. В цитируемой работе предпринята попытка рассчитать потоки нефтяных углеводородов через морскую биоту, которые изменяются в результате накопления, выведения, окисления и биотического переноса нефтяных углеводородов, при этом может превалировать тот или иной путь. Так, в бактериальных сообществах происходит окисление нефти, в других организмах на первое место выходят накопление и выведение, а окисление возможно при наличии ферментативных систем, разлагающих данное вещество. Однако бактерии присутствуют практически на всех этапах

движения нефтяного потока в морской биоте и вносят свою лепту в качественный и количественный состав НУ биологической системе.

При одновременном воздействии других, в частности абиотических факторов, скорости преобразования нефтяного загрязнения, а также полнота окисления НУ могут варьировать в широких пределах. Главенствующая роль того или иного фактора в этом процессе в каждый момент времени может значительно изменяться.

Используя данные по содержанию алифатических углеводородов в различных миграционных формах, сделана попытка оценить величины их потоков и массу в океане [116]. Балансовые расчеты проводились на основе среднего содержания алифатических углеводородов в различных морских объектах и в составе органического вещества с учетом массы органического углерода в океане [137]. Автор подчеркивает, что если в целом для океана в общем балансе нефтяные углеводороды пока не играют существенной роли, то в прибрежно-эстуарных зонах их поток соизмерим с речным стоком.

Выше говорилось о взаимодействии нефти с бактериями. При этом возникает еще одно направление биodeградации НУ: бактерии – инфузории [131, 132]. Автором показано, что утилизация нефтяных углеводородов бактериями сопровождается внутриклеточное накопление алканов. При этом следует отметить, что вместе с пищей инфузории могут заглатывать мельчайшие капельки нефти и нефтепродуктов. Дальнейшее выедание инфузориями нефтеокисляющих бактерий сопровождается миграцией алканов в клетки цилиат, что в природных условиях может приводить к дальнейшей миграции токсикантов к гидробионтам высших трофических уровней.

Таким образом, речь идёт о переносе нефтяного загрязнения, т.е. передаче углеводородов по пищевой цепи [148, 149, 159].

Количественная оценка биологической составляющей в общем потоке нефтяного загрязнения в море представляет большие трудности и находится на первых стадиях изучения. В то же время значимость этой составляющей в

прибрежной зоне моря, где сосредоточена основная масса биологических ресурсов и рекреационных зон, не вызывает сомнения [98].

Исследование роли морской биоты в трансформации нефти и нефтепродуктов даст возможность прогнозировать эволюцию нефтяных углеводородов в море.

Таким образом, несмотря на многочисленные публикации, посвящённые результатам исследования влияния нефти и нефтепродуктов на гидробионтов, приходится констатировать, что комплексное изучение содержания НУ в среде и организмах зарослевых сообществ макрофитов прибрежной акватории Севастополя отсутствует. Более того, практически не изучена связь содержания общих липидов и НУ в массовых гидробионтах данного биоценоза. Все эти вопросы и были поставлены перед нами при выполнении настоящей работы.

РАЗДЕЛ 2

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Краткая характеристика районов взятия проб

Санитарно-гидробиологическая характеристика, включая биологические аспекты нефтяного загрязнения, прибрежной акватории юго-западного Крыма в соответствующей литературе освещена довольно полно [2, 11, 18, 92, 100, 140], однако некоторые участки, в частности районы с малыми глубинами (1 – 1,5 м), имеющие рекреационное значение, в этом отношении изучены явно недостаточно.

Выбирая участки для сбора материала, мы руководствовались следующими принципами. Во-первых, эти акватории, или, во всяком случае, вплотную прилегающие к ним, должны быть изучены в гидрологическом и гидрохимическом отношениях, т.е. мы должны были располагать информацией об особенностях их гидрологического режима. Во-вторых, на этих участках должны располагаться зарослевые сообщества со сходной биотой. И, наконец, в-третьих, станции отбора проб должны располагаться в местах возможного нефтяного загрязнения, иначе цель работы фактически не будет достигнута.

Всего выбрано четыре участка (рис. 2.1). Первый из них – станция А – расположен в Артиллерийской бухте, частично захватывает подводные части гидротехнических сооружений пляжа Хрустальный. Дно на этом участке каменистое, с выходами скальных пород, покрыто цистозирой, имеется выход канализационной системы. Второй участок – станция Б – находится на южном берегу собственно Севастопольской бухты близ памятника Затопленным кораблям у Приморского бульвара. Скальные породы, обросшие цистозирой, здесь выходят на малые глубины.

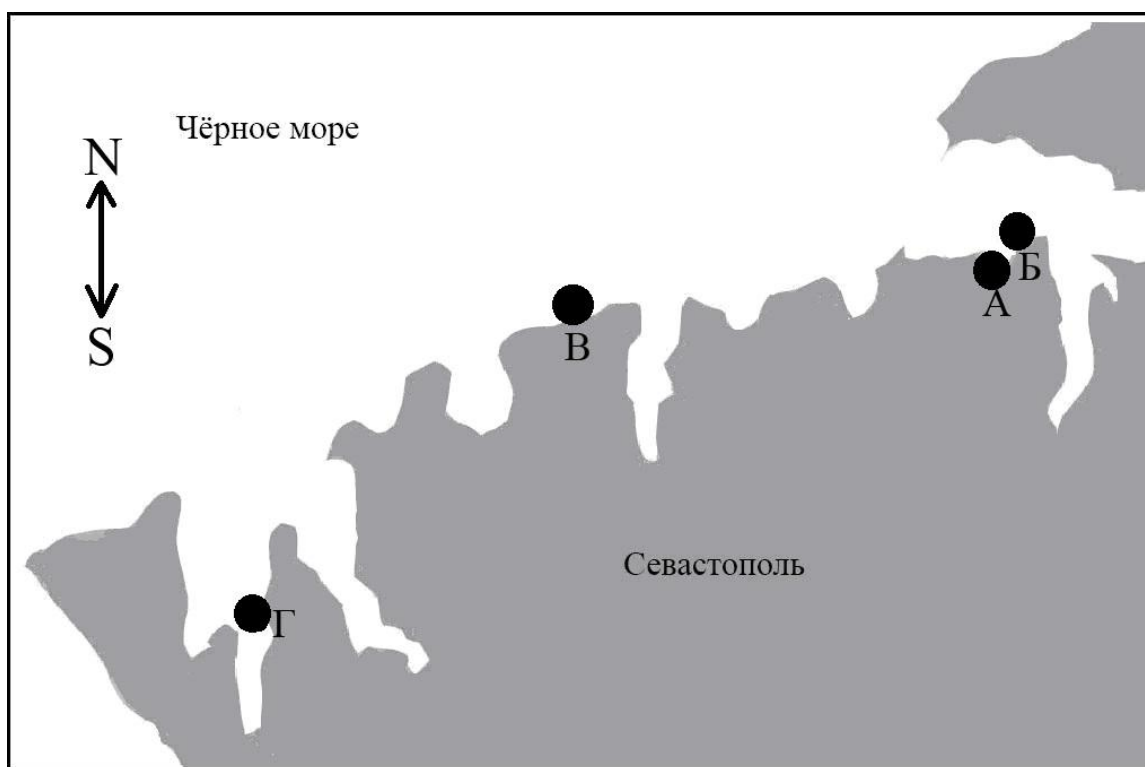


Рис. 2.1. Схема расположения станций отбора проб. А – Артиллерийская бухта, Б – Приморский бульвар, В – парк Победы, Г – бухта Казачья.

Оба участка, т.е. станции А и Б, находятся в зоне интенсивного движения городского водного транспорта, особенно активно функционирующего в летний период. Станция В – акватория парка Победы – лежит в 4 км от входа в Севастопольскую бухту. Дно на этом участке каменистое, с отдельными валунами, обильно поросло цистозирой. Движения водного транспорта практически нет, за исключением небольших катеров и другого маломерного водного транспорта, сосредоточенного на этом участке в летний период. Станция Г располагается в бухте Казачьей в 10 км от Севастопольской бухты и в 6 км от станции В. Сама бухта Казачья как бы состоит из двух частей – восточной и западной. Для сбора материала был выбран восточный рукав, ранее в санитарно-биологическом отношении не изучавшийся. Дно здесь илистое, песчано-илистое, с зарослями морской травы zostеры, с цистозирой на отдельных валунах. Кстати, на берегу восточной части бухты идёт активное строительство нового микрорайона, что ведет к увеличению рекреационной нагрузки на эту акваторию.

2.2. Методы сбора проб и первичной обработки материала

Сбор проб осуществлялся на глубинах 1 – 1,5 м. Всего за период 2007, 2010 – 2012 гг. отобрано и обработано 454 пробы, выполнено 2449 анализов на определение нефтяных углеводородов и общих липидов (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Объекты исследований, число проб и количество анализов

Объекты	количество		
	проб	анализов	
		НУ	ОЛ
Цистозира - <i>Cystoseira barbata</i> (Good. et Wood.) Ag.	58	174	174
микрופерифитон с <i>C. barbata</i>	57	171	171
Зостера - <i>Zostera noltii</i> (Hornemann)	15	45	45
микрופерифитон с <i>Z. noltii</i>	14	42	42
Риссоа - <i>Rissoa splendida</i> (Eichwald, 1830)	58	174	174
фекалии <i>R. splendida</i>	25	75	75
Биттиум - <i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)	32	96	96
фекалии <i>B. reticulatum</i>	11	33	33
Триколия - <i>Tricolia pullus</i> L., 1758	25	75	75
Гиббула - <i>Gibbula divaricata</i> L., 1758	15	45	45
Mytilidae	34	102	102
Сердцевидка - <i>Parvicardium exiguum</i> Gmelin, 1791	10	30	30
Морская вода	60	180	-
Донные осадки	12	36	36
Обрастания гидротехнических сооружений	17	51	-
Микробиологические пробы морской воды	11	22	
Итого	454	2449	

Пробы морской воды объёмом 2 л для химического анализа отбирались чистым ведром. Для микробиологического анализа морской воды из прибрежных районов достаточно 1 – 10 мл. В этой связи применяли специальный пробоотборник, разработанный в отделе морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ. Конструктивной особенностью прибора, подробно описанного в [72], является то, что им можно вручную отбирать пробы морской воды из нулевого горизонта моря. Система пружины и тормозных

щитков позволяет отбирать воду как в стационарных условиях, так и на ходу судна. При этом при поднятии на поверхность прибор автоматически закрывается.

Из-за малых глубин донные осадки отбирали вручную полиэтиленовой банкой. Объём пробы составлял 1 дм³. В лаборатории половину пробы донных осадков помещали на стёкла 20x20 см и высушивали до воздушно-сухого состояния под вытяжкой при температуре 25° С. Другую часть донных осадков для определения количества нефтяных углеводородов, которые из него могут перейти в морскую воду, помещали в 1-литровый химический стакан, заливали 500 мл морской воды, отобранной в том же месте, где брали донные осадки. Затем в течение 10 мин пробу грунта в стакане перемешивали стеклянной палочкой, и далее отстаивали в течение суток. После отстаивания надосадочную жидкость отфильтровывали через мембранный фильтр «Sartorius» с диаметром пор 0,2 µm.

Пробы макрофитов отбирали вручную. На станции А макрофиты собраны с поверхности гидротехнических сооружений, на станциях Б и Г – цистозире собрали с валунов, а на станции Б – со скальных пород. Зостеру добывали на илисто-песчаных грунтах станции Г. Образцы растений помещали в полиэтиленовые пакеты и доставляли в лабораторию, где их освобождали от животных. Затем 50 г сырой массы цистозире и зостеры высушивали в сушильном шкафу при температуре 100° С в течение 5 ч.

С поверхности макрофитов, доставленных в лабораторию, смывали микроперифитон интенсивным перемешиванием стеклянной палочкой в стакане объёмом 1 л с дистиллированной водой в течение 10 мин. Дистиллированная вода применялась для исключения солей морской воды на последующих этапах анализа. Смыв отстаивали в течение суток, затем надосадочную воду осторожно сливали, а оставшийся осадок высушивали при температуре 25° С.

Доставленные в лабораторию макрофиты помещали в эмалированную кювету, где пинцетом отбирали моллюсков. Как показали предварительные

исследования, для анализа на содержание НУ и ОЛ достаточно 10 – 30 экз. моллюсков в зависимости от их размера. После отбора необходимого количества организмов оставшиеся особи были возвращены в море. Собранных моллюсков высушивали в сушильном шкафу при температуре 100°C в течение 5 ч.

Для получения фекалий моллюсков: *R. splendida* и *B. reticulatum* 400 экз. помещали на планктонную сеть (мельничный газ № 120) в кристаллизатор объёмом 300 мл с профильтрованной морской водой. Фекалии проходили через мельничный газ и оседали на дно кристаллизатора. Через 3 сут воду из кристаллизатора профильтровывали через предварительно прокаленный и взвешенный стекловолокнистый фильтр.

2.3. Химический анализ собранного материала

Для химического анализа собранного материала использована схема комплексного биохимического анализа гидробионтов, разработанная в отделе морской санитарной гидробиологии [54], позволяющая провести определение общих липидов и нефтяных углеводов из одной навески.

Навески высушенных и измельчённых образцов (макрофиты, микроперифитон, моллюски) в количестве 20 мг и фекалии моллюсков помещали в центрифужные пробирки из инертного материала. Липидно-углеводородный комплекс экстрагировали смесью хлороформ–этанол (в соотношении 2:1) в количестве 3 мл два раза по 30 мин, затем центрифугировали в течение 10 мин при 10000 об·мин⁻¹. Экстракты объединяли и высушивали при температуре 25° С до сухо-воздушного состояния. Осадок перерастворяли в 1 мл хлороформа. Из полученного объема использовали аликвоту в объёме 100 мкл для определения общих

липидов по цветной реакции с фосфованилиновым реактивом по Агатовой [1]. Все анализы проводили в трёхкратной повторности.

Собранные фекалии анализировали вместе со стекловолкнистым фильтром. Количество фекалий определяли по разности весов фильтров до и после получения фекалий.

Поскольку методы определения нефтяного загрязнения в объектах окружающей среды весьма разнообразны [73], то с целью получения сравнимых с предшествующими работами результатов нами выбран метод инфракрасной (ИК) спектроскопии [120].

Данный метод основан на измерении интенсивности поглощения, обусловленного С-Н-связями метиленовых ($-\text{CH}_2$) и метильных ($-\text{CH}_3$) групп в ближней инфракрасной области спектра (волновое число $2700\text{--}3100\text{ см}^{-1}$). В этом диапазоне длин волн находятся свыше 90% углеводородов нефти (рис. 2.2).

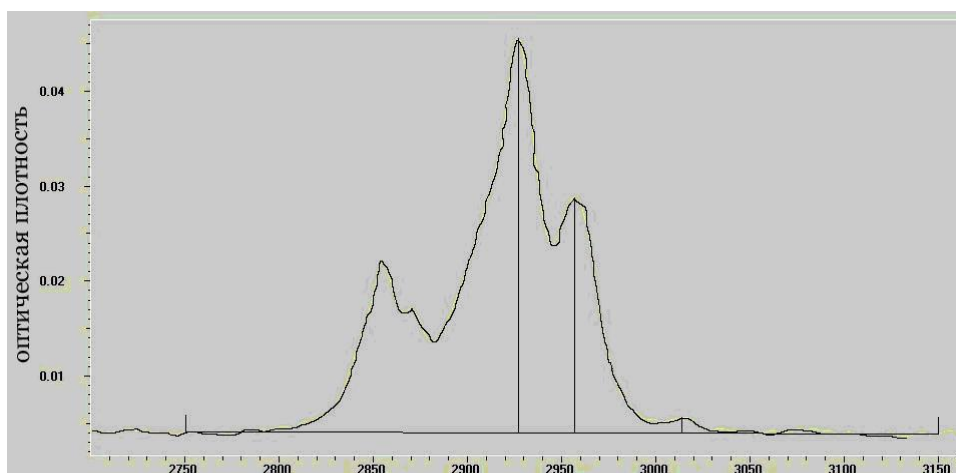


Рис. 2.2. Типичный ИК-спектр нефтяных углеводородов в период наблюдения (получен нами на спектрофотометре ФСМ-1201)

ИК спектры НУ отличаются большой индивидуальностью, что и определяет их ценность при идентификации и изучении строения соединений. Обсуждаемые ниже результаты исследования объектов морской

среды показали, что основной вклад в оценке нефтяного загрязнения приходится на углеводороды алифатического ряда.

Перед получением ИК-спектров пробы подвергали предварительной обработке. Из высушенных проб донных осадков брали навески по 5 г для илистых грунтов и по 10 г для песчаных. Оставшийся после определения общих липидов и суммарных углеводородов хлороформенный экстракт высушивали под тягой при температуре 25°C и перерастворяли в четырёххлористом углероде. Затем методом колоночной хроматографии на оксиде алюминия отделяли полярные соединения, а нефтяные углеводороды переходили в элюат. Количество НУ определяли в инфракрасном спектре на ИК Фурье спектрофотометре ФСМ-1201.

Пробы морской воды трижды экстрагировали четырёххлористым углеродом. Экстракты объединяли и пропускали через колонку с окисью алюминия. Количество НУ также определяли на ИК Фурье спектрофотометре.

В процессе отработки методики исследований была разработана полезная модель [123], которая относится к области морской санитарной гидробиологии и предназначена для проведения мониторинга прибрежных морских акваторий, а также может быть использована при осуществлении мероприятий по предотвращению загрязнения и очистке от нефтяного загрязнения береговой полосы.

В основу полезной модели «Способ оценки потоков нефтяных углеводородов в прибрежных морских акваториях» поставлена задача повышения достоверности результатов путём определения содержания нефтяных углеводородов в источнике питания и фекалиях моллюска *Rissoa splendida*.

2.4. Микробиологический анализ морской воды

Исходя из целей нашей работы, систематическую принадлежность бактерий не определяли. Для выделения из общей численности гетеротрофных бактерий нефтеокисляющих бактерий использовали минеральную среду Диановой-Ворошиловой, не имеющей в своём составе углерода. В качестве единственного источника углерода и энергии применяли солярку – основной нефтепродукт, используемый для судовых двигателей. Численность микроорганизмов определяли методом предельных разведений. Наиболее вероятное число микроорганизмов в единице объёма рассчитывали по таблице Мак-Креди [133], разработанной на основе методов вариационной статистики.

2.5. Статистическая обработка

Статистическая обработка собранного материала включала в себя стандартные методы вариационной статистики.

В ряде наших работ [77, 81] обосновывалась возможность применения в санитарно-биологических исследованиях метода наименьших квадратов (МНК). Данный метод широко используется в регрессионном анализе и при статистической обработке данных, относящихся к различным функциональным зависимостям параметров морской среды друг от друга. Этот метод позволил построить в диссертационной работе статистическую модель зависимости содержания нефтяных углеводородов в объектах морской среды от содержания нефтепродуктов в морской воде.

Для определения характера распределения ошибок в выбранной модели предварительно был построен график (рис. 2.3). Приведённые на рис. 2.3 данные позволяют говорить о распределении ошибок, близком к нормальному, т.е. о пригодности модели для решения поставленной задачи.

При измерении какой-либо величины один или несколько результатов могут значительно отличаться от основной массы значений. До сих пор и теория, и прикладные методы исключения резко выделяющихся результатов разработаны недостаточно. Поскольку проверяемая выборка может не следовать приписываемой ей статистике, не только выявление, но и устранение аномальных результатов представляет далеко не простую и корректную процедуру.

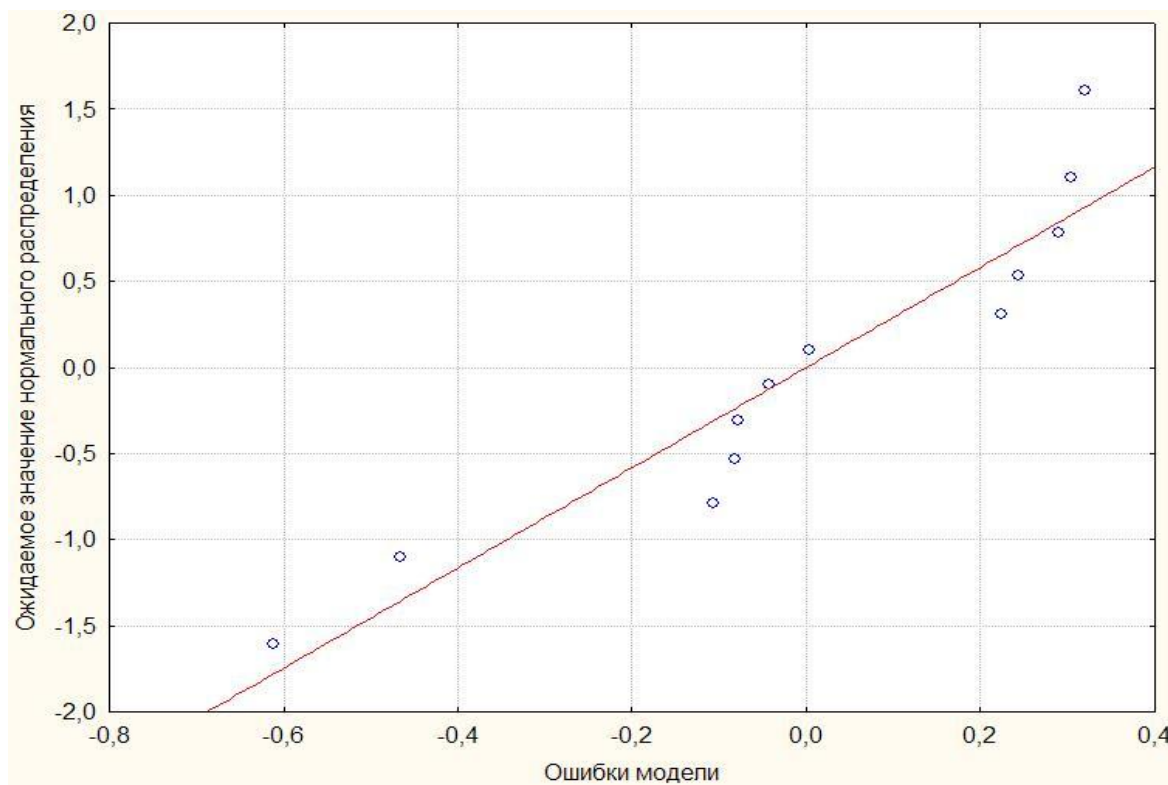


Рис. 2.3. Распределение ошибок модели на нормальной вероятностной бумаге (разграфленной таким образом, что нормальное распределение представляется прямой линией).

Для выявления грубых ошибок цифровых данных химического анализа (как правило, при малом объеме выборки) принято использовать ряд специальных тестов, таких как “Dixon’s Q” (тест Диксона) [191]. Dixon’s Q используют при малых объемах выборки ($n < 20-25$). Для этого рассчитывают величины Q_{ik} (значение величины Q для значений i, k), причем величины i, k и соответствующие им статистические функции Q_{ik} выбирают в зависимости от общего числа измерений n . Найденные значения

Q_{ik} сравнивают с критическим значением $Q_{кр}$, соответствующим n и выбранной вероятности ошибки второго рода – “степени риска”. Если $Q_{ik} > Q_{кр}$, то подозрительное значение считается недействительным и в дальнейшем анализе не используется.

Некоторые методические особенности сбора и обработки материала изложены ниже в соответствующих разделах диссертации.

Материалы данного раздела диссертации вошли в публикации: [77, 81, 123].

РАЗДЕЛ 3

НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ АКВАТОРИИ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

3.1. Нефтяные углеводороды в морской воде

Организмы, обитающие в зарослях макрофитов, находятся в толще морской воды со всеми отсюда вытекающими последствиями. Учитывая это, нами изучены уровни нефтяного загрязнения воды в местах непосредственного отбора проб гидробионтов.

В 2009 – 2012 гг. на участках с каменистым дном (станции Б, В и Г) отобрано 11 проб морской воды. Результаты анализа воды на содержание НУ показали, что среднее содержание НУ в морской воде на исследуемой акватории составляло $0,04 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, т.е. не превышало ПДК, существующее в России и Украине (рис. 3.1).

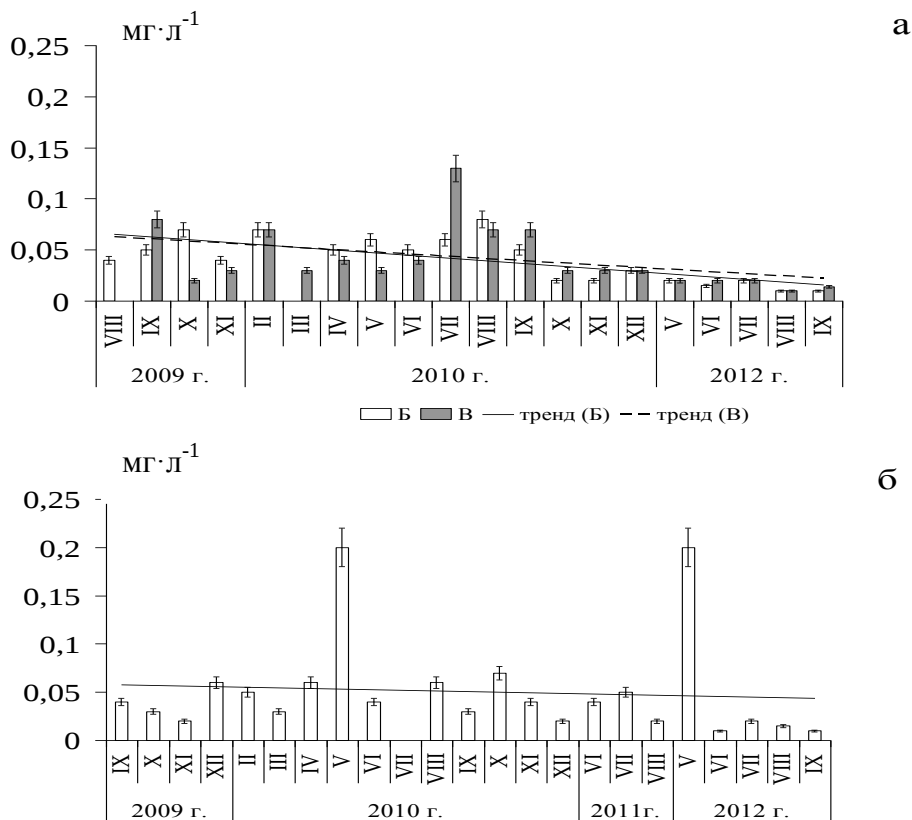


Рис. 3.1. Содержание НУ в морской воде на станциях Б, В (а) и Г (б)

Повышение содержания НУ, отмечаемое в некоторых пробах в отдельные месяцы, скорее всего, связано с пятнистостью распределения НУ в море, что, кстати, ранее было показано на примере Севастопольской бухты [100].

Как видно из рис. 3.1, в период наблюдения с 2009 по 2012 гг. прослеживается явная тенденция уменьшения содержания НУ в морской воде, что демонстрируется углом наклона трендов. Это может свидетельствовать о некотором улучшении и общей стабилизации экологической ситуации во всей акватории региона Севастополя [100, 140].

Таким образом, в период проведения настоящей работы макрофиты обитали в среде с низким уровнем содержания НУ.

3.2. Нефтяные углеводороды в объектах возможного вторичного загрязнения морской воды

3.2.1. **Донные осадки.** Органические вещества, включая нефть, со временем мигрируют из морской воды на дно и накапливаются в донных осадках. Этот процесс наиболее активно идет в прибрежных акваториях, в частности в бухтах с мягкими грунтами, где в итоге на дне скапливаются загрязнители, включая нефть и нефтепродукты.

Под влиянием механических (в основном гидродинамических) и биохимических (деятельность микроорганизмов) процессов происходит вторичное загрязнение морской воды из донных осадков. Наиболее значимой причиной взмучивания донных осадков и перехода загрязняющих веществ из них в морскую воду являются гидродинамические процессы.

С целью изучения гидродинамической составляющей этого процесса в местах проведения работ проведены эксперименты с донными осадками на станции Г, расположенной в бухте Казачьей. Поскольку интенсивность

накопления органики в донных осадках зависит от их гранулометрического состава [72], были отобраны образцы, представленные песками и илами.

Всего отобрано 12 образцов грунта (6 илистых и 6 песчаных). Для более полной оценки перехода органического вещества из донных осадков в морскую воду в них определяли не только НУ, но и сумму липидно-углеводородного комплекса - хлороформ-экстрагируемые вещества (ХЭВ).

Средняя величина ХЭВ в илу составляла $26,4 \pm 2,18$, а в песке – $12,4 \pm 1,04$ мг·(100 г)⁻¹. Однако в одной пробе ила, отобранной 15 июня, величина ХЭВ была максимально высокой, более чем в 4 раза превышая среднее значение (табл. 3.1). В равной степени максимальной была величина ХЭВ и в пробе песчаного грунта, фактически в 2 раза превышая средний показатель.

Таблица 3.1

Хлороформ-экстрагируемые вещества (мг·(100 г)⁻¹) в донных осадках на станции Г (бухта Казачья) в 2011 г.

Дата	31.05	05.06	15.06	20.06	04.07	06.07	Среднее
Ил	38	19	116	27	25	23	$26,4 \pm 2,18$
Песок	12,5	11,5	24	15,5	15	7,5	$12,4 \pm 1,04$

Последнее обстоятельство лишний раз подтверждает микропятнистость распределения органических веществ в донных осадках. В данном случае такое увеличение ХЭВ могло быть вызвано не нефтяным загрязнением, как следует из данных табл. 3.2, а возможным нахождением здесь источника органического вещества автохтонного происхождения, например, разлагающихся останков какого-либо погибшего гидробионта.

Таблица 3.2

**Концентрация НУ ($\text{мг} \cdot (100 \text{ г})^{-1}$) в донных осадках на станции Г
(бухта Казачья) в 2011 г.**

Даты	31.05	05.06	15.06	20.06	04.07	06.07	Среднее
Ил	$6,8 \pm 0,05$	$5,0 \pm 0,03$	$1,2 \pm 0,03$	$1,6 \pm 0,02$	$3,0 \pm 0,02$	$3,2 \pm 0,03$	$3,5 \pm 0,66$
Песок	$1,0 \pm 0,01$	$2,0 \pm 0,02$	$0,7 \pm 0,01$	$1,0 \pm 0,03$	$0,7 \pm 0,01$	$0,7 \pm 0,01$	$1,0 \pm 0,13$

И в илистых грунтах, и в песчаных доля НУ в составе ХЭВ составляла около 10%. В пробе, отобранной 15 июня, концентрация НУ была минимальной. Исходная морская вода, отобранная одновременно с пробами грунта, содержала в среднем $0,056 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ НУ при колебаниях от 0,04 до $0,075 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. В результате эксперимента получены следующие значения перехода НУ из донных осадков в морскую воду: для илов – 0,26, для песков – 0,17 $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Таким образом, за счет большего содержания НУ в илах из них в морскую воду переходит в 1,5 раза больше НУ, чем из песчаных грунтов.

Полученные величины согласуются с многолетними данными по содержанию НУ в донных осадках системы севастопольских бухт [100]. Учитывая низкие концентрации НУ в донных осадках бухты Казачья, можно полагать, что они практически не вносят вклада в средний уровень содержания НУ в морской воде.

3. 2. 2. П р и б р е ж н ы е н а н о с ы. Помимо донных осадков источником вторичного загрязнения морской воды могут быть прибрежные наносы и подводные части гидротехнических сооружений. Для изучения этого фактора проанализированы собственные и литературные данные по содержанию нефтяных углеводородов в некоторых прилегающих акваториях [76, 127, 140, 186].

В частности, на основании данных [127], любезно предоставленных авторами цитируемой публикации, был проведен анализ среднего содержания НУ в прибрежных морских наносах акватории Севастополя (рис. 3.2).

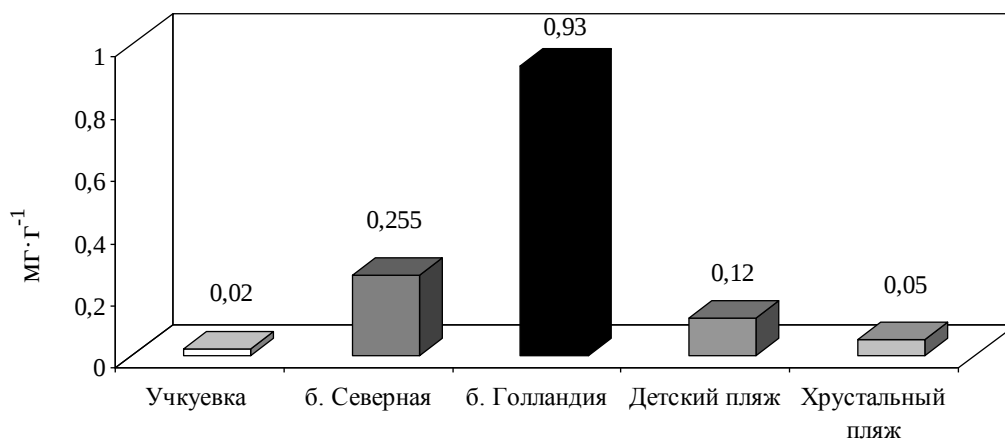


Рис. 3.2. Среднее значение содержания нефтяных углеводородов в прибрежных морских наносах акватории Севастополя

Как видно из рис. 3.1, наблюдается закономерное повышение концентрации нефтяных углеводородов в прибрежных наносах от района открытого моря вглубь Севастопольской бухты (пляж Учкueвка – бухта Северная – бухта Голландия). Столь резкое увеличение содержания НУ в прибрежных наносах на станциях Северная, а тем более, Голландия, объясняется как географическим расположением этих бухт, так и антропогенной нагрузкой. Полузакрытая бухта Северная находится недалеко от входа в Севастопольскую бухту, здесь швартуются только катера городской линии. Бухта Голландия расположена в 4,2 км от входа в главную бухту, в ней находятся причалы, как городских катеров, так и кораблей ЧФ России. Меньшие значения нефтяных углеводородов, по сравнению с бухтами Северной и Голландией, получены в районе так называемого детского пляжа (старое название участка Приморского бульвара с галечными наносами). Кстати заметим, что в наших исследованиях станция Б в прибрежье Приморского бульвара находится в 100 м от бывшего пляжа. Эта станция располагается на относительно одинаковом расстоянии от входа в Севастопольскую бухту, равно как и станция Северная. Однако концентрация нефтяных углеводородов отличается в 2,1 раза. Это, скорее всего, связано с тем, что пляж находится напротив входа в бухту и здесь

наблюдается более интенсивное перемешивание вод. Ещё ближе к входу в Севастопольскую бухту располагается пляж Хрустальный, где среднее значение содержания нефтяных углеводородов составляло, как указывалось выше, $0,05 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$. Кстати, наши исследования на станции А частично также охватывали акваторию этого пляжа.

В целом результаты выполненного анализа свидетельствуют об относительно низком уровне нефтяного загрязнения береговых наносов на станциях, наиболее близко расположенных к участкам постоянного отбора проб (станции А и Б). Можно полагать, что и другие участки прибрежных наносов (станции В и Г), не имеющие стационарных источников загрязнения, не привносят дополнительного количества НУ в акваторию сбора материала.

3. 2. 3. Н е ф т я н ы е у г л е в о д о р о д ы н а п о в е р х н о с т и о б р а с т а н и й г и д р о т е х н и ч е с к и х с о о р у ж е н и й. В регионе Севастополя пограничная зона море-берег изобилует гидротехническими сооружениями, на которых происходит осаждение НУ. Эти осевшие НУ, особенно те, что представлены плёночными образованиями, могут явиться источником вторичного загрязнения морской воды благодаря волновым колебаниям уровня моря.

Пробы обрастаний, основу которых составляли макрофиты, отбирались в мае - июле 2007 г. на 17 точках с подводной части бетонной набережной бухты Артиллерийская (станция А) (рис. 3.3).

Глубины у основания бетонных стенок колеблются от 1 до 3 м, а в районе свайного причала (точки 11 и 12) составляют 5 – 6 м. Отбор проб проводился на сформировавшихся в пограничном слое «море-атмосфера» обрастаниях, представленных «щеткой» водорослей-макрофитов, длина которых в результате волнового воздействия не превышала 1 – 2 см.

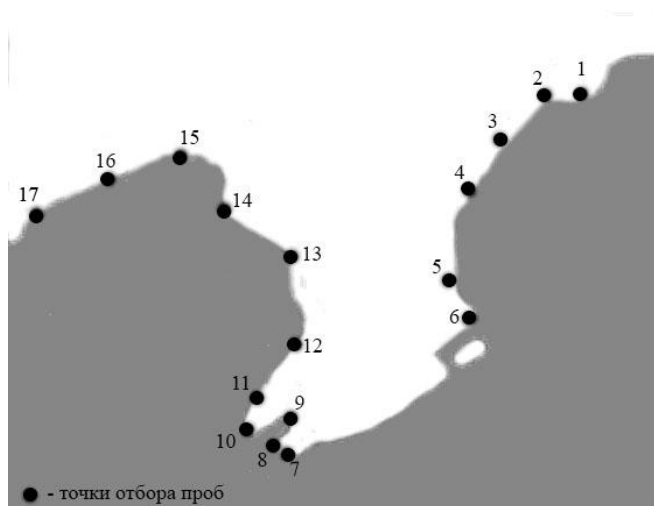


Рис. 3.3. Расположение точек отбора проб на станции А (бухта Артиллерийская)

В данном случае изучалось поверхностное загрязнение макрофитов нефтяными углеводородами, что имело некоторые методические особенности. Коротко остановимся на них.

Из каждого образца обрастаний брали навеску 10 г и экстрагировали 20 мл четыреххлористого углерода 3 раза по 3 мин. Поскольку талломы водорослей покрыты плотной оболочкой, то за эти 3 мин растворитель не успевал проникнуть внутрь организмов, и нефть смывалась только с поверхности. Полученные экстракты объединяли. Растворитель из стаканов удаляли испарением в вытяжном шкафу при температуре в лаборатории 20 – 25⁰ С. Затем 5 мл CCl₄ пробы переносили во взвешенные бюксы и доводили до постоянного веса. После этого пробы количественно переносились на колонку с окисью алюминия для отделения полярных соединений. Нефтяные углеводороды определяли методом инфракрасной спектрометрии [76].

Максимальное значение нефтяных углеводородов зафиксировано в угловой части бухты в точке 7 – 0,33 мг·г⁻¹ (рис. 3.4), где располагаются причальная стоянка городских катеров, паромов и выход ливневой канализации.

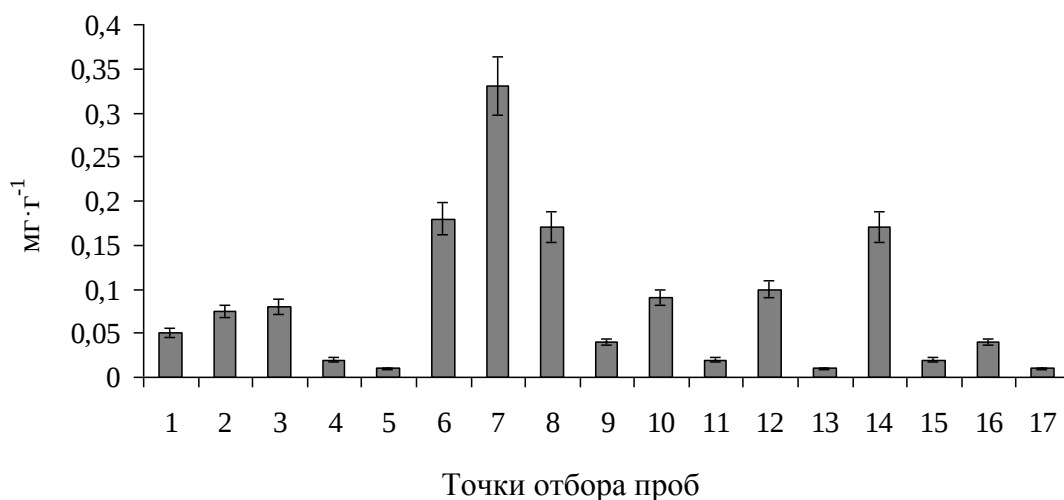


Рис. 3.4. Содержание нефтяных углеводородов в обрастаниях на станции А (бухта Артиллерийская), мг·г⁻¹ сырого веса

Повышенные величины наблюдались и в соседних точках 6 и 8 (0,18 и 0,17 мг·г⁻¹), а также в точке 14 (0,17 мг·г⁻¹), где береговая линия образует угловую структуру, способствующую накоплению НУ.

Минимальные концентрации НУ наблюдались в точках отбора проб – 5, 13, 17 (0,01 мг·г⁻¹), т.е. на участках с более интенсивным водообменном.

Неравномерность распределения нефтяного загрязнения в обрастаниях можно объяснить миграцией нефти и нефтепродуктов по акватории бухты. Интересно было сравнить уровни поверхностного нефтяного загрязнения макрофитов с гидротехнических сооружений бухты Артиллерийская и донных осадков из того же участка, поскольку и те и другие могут быть источником вторичного загрязнения морской воды НУ. По [100], концентрация нефтяных углеводородов в донных осадках Артиллерийской бухты составляет 0,3 – 1,35 мг·г⁻¹ – в песках и 1,61 – 2,53 мг·г⁻¹ – в илах, что значительно превышает концентрации НУ (0,01 – 0,33 мг·г⁻¹) на макрофитах гидротехнических сооружений. Объяснение этому лежит в различных механизмах осаждения нефти. В донные осадки нефть попадает фактически со всего зеркала бухты, а на вертикальной подводной части гидротехнических сооружений на границе «море-атмосфера» осаждается преимущественно

прибитая к берегу плёночная форма нефтяного загрязнения. Кроме того, в результате волнового воздействия она постоянно смывается.

Таким образом, в результате изучения содержания НУ в морской воде, а также донных осадках, береговых наносах и макрофитах подводных гидротехнических сооружений, как возможных источников вторичного загрязнения морской воды, нам удалось установить следующее:

- Среднее содержание НУ в морской воде прибрежной акватории Севастополя не превышает ПДК; более того в последние годы наблюдается тенденция уменьшения НУ в морской воде
- Низкие концентрации НУ илистых и песчаных осадках, а также в береговых наносах на участках, где отсутствуют стационарные источники нефтяного загрязнения, свидетельствует об их незначительном вкладе во вторичное загрязнение НУ морской среды.
- Содержание НУ илистых грунтах превышает таковые в песчаных в среднем в 3 раза.
- Макрофиты подводных гидротехнических сооружений загрязнены НУ в значительно меньшей степени, чем донные осадки на тех же участках.

По материалам данного раздела диссертации опубликованы работы: [76, 80, 87, 88, 99, 186].

РАЗДЕЛ 4

НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В МАССОВЫХ ОРГАНИЗМАХ ЗАРОСЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ СЕВАСТОПОЛЯ

4.1. Нефтяные углеводороды в составе макрофитов

Как показали наши исследования, на станциях Б (акватория Приморского бульвара) и В (акватория парка Победы) доминирующим видом макрофитов является *Cystoseira barbata*. Заметим, что материалы о биохимическом составе черноморской цистозеры в литературе практически отсутствуют, а сведения о содержании в ней НУ получены только в результате наших исследований [78, 79].

Основной материал был собран в период с мая по сентябрь 2010 и 2012 гг., поскольку проводить работы на мелководье в зимнее время в прибойной зоне весьма затруднительно. Однако в 2010 г. нам всё же удалось собрать материал в феврале и декабре.

Максимальные значения НУ в *C. barbata* на станции Б отмечены в июле и августе (рис. 4.3Б), что явно связано с активизацией движения городского водного транспорта (катера, паромы) и прогулочных катеров в эти месяцы.

При этом в 2010 г. абсолютные величины превосходили данные за 2012 г. примерно втрое. Так в июле и августе 2010 г. эти показатели составляли соответственно 0,65 и 0,54 против 0,28 и 0,19 мг·(100 мг)⁻¹ в 2012-м. Следует отметить, что и в остальные месяцы содержание НУ в цистозере в 2010 г. было выше, чем в 2012-м. Средние значения за 5 месяцев составили в 2010 г. $0,36 \pm 0,08$, а в 2012-м - $0,18 \pm 0,02$ мг·(100 мг)⁻¹.

На станции В (рис. 4.3) распределение концентрации НУ в цистозере было более равномерным. Средние величины составляли для 2010 и 2012 гг.

соответственно. $0,21 \pm 0,05$ и $0,17 \pm 0,02$ мг·(100 мг)⁻¹ и статистически не отличались.

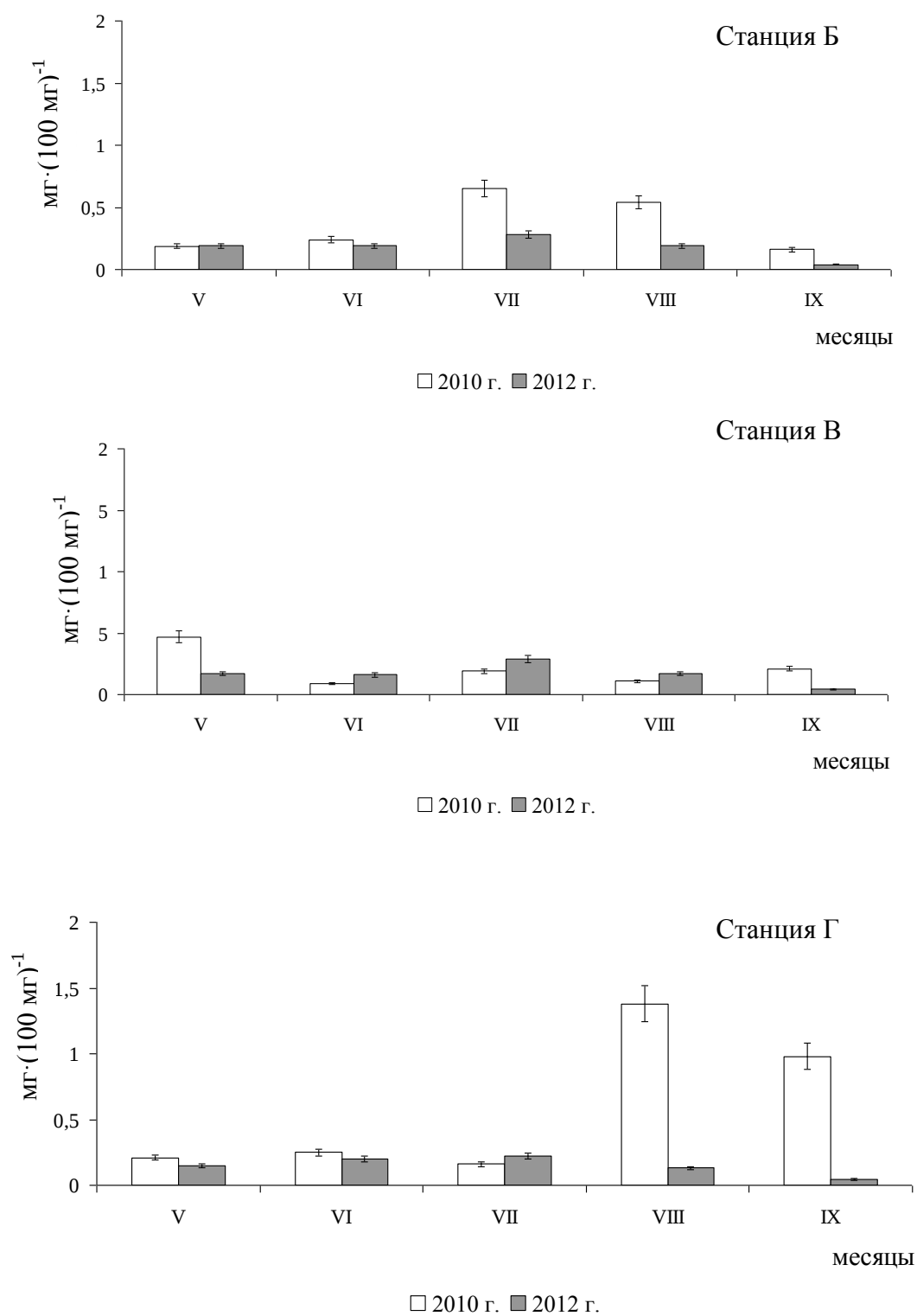


Рис. 4.3. Содержание НУ в *C. barbata* на станциях Б, В и Г в тёплое время года в 2010 и 2012 гг.

В целом содержание НУ в *C. barbata* на станции В, расположенной на открытом берегу, было ниже, чем на станции Б. Последняя находится близ самой загрязненной акватории региона Севастополя – центральной части Севастопольской бухты и входом в Южную бухту. Можно полагать, что на фоне осредненных низких величин НУ в морской воде в отдельные периоды (дни) концентрация в море НУ могла подниматься, что и отразилось на содержании НУ в водоросли.

Средние величины содержания НУ цистозире, произрастающей на отдельных валунах, расположенных в бухте Казачья (станция Г), составляли $0,59 \pm 0,21$ и $0,15 \pm 0,02$ мг·(100 мг)⁻¹ соответственно в 2010 и 2012 гг. Столь резкие различия связаны с тем, что в августе и сентябре 2010 г. уровень НУ в водорослях был в разы больше, чем в те же месяцы 2012 г. (рис. 4.3). В 2010 г. мы располагали данными практически за весь год. Средняя величина НУ в цистозире в районе станции Г за 6 мес. составила $0,31 \pm 0,06$ мг·(100 мг)⁻¹.

В 2010 г. на станциях Б и В удалось отобрать пробы и в другие сезоны года (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Содержание НУ в цистозире в холодное время 2010 г., мг·(100 мг)⁻¹

Район	Месяцы						среднее
	II	III	IV	X	XI	XII	
Станция Б	$0,52 \pm 0,04$	-	$0,12 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,06$
Станция В	$1,36 \pm 0,04$	$0,07 \pm 0,01$	-	$0,14 \pm 0,01$	$0,24 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,01$	$0,32 \pm 0,17$

Если убрать крайние величины [171], полученные на станции В, то средние показатели содержания НУ в цистозире для этой станции составят $0,14 \pm 0,02$, а для станции Б – $0,22 \pm 0,06$ мг·(100 мг)⁻¹, т.е. средние величины

НУ в *C. barbata* на этих участках находились в пределах статистической ошибки.

В холодное время года средняя концентрация НУ в цистозире, произрастающей в прибрежной зоне Приморского бульвара (станция Б), была в 1,6 раза ниже, чем в тёплое время года, а для побережья парка Победы (станция В) различия в содержании НУ в водорослях не выявлены.

Концентрация НУ в zostере *Z. noltii* изучалась на материале, собранном на станции Г (бухта Казачья) (рис. 4.4).

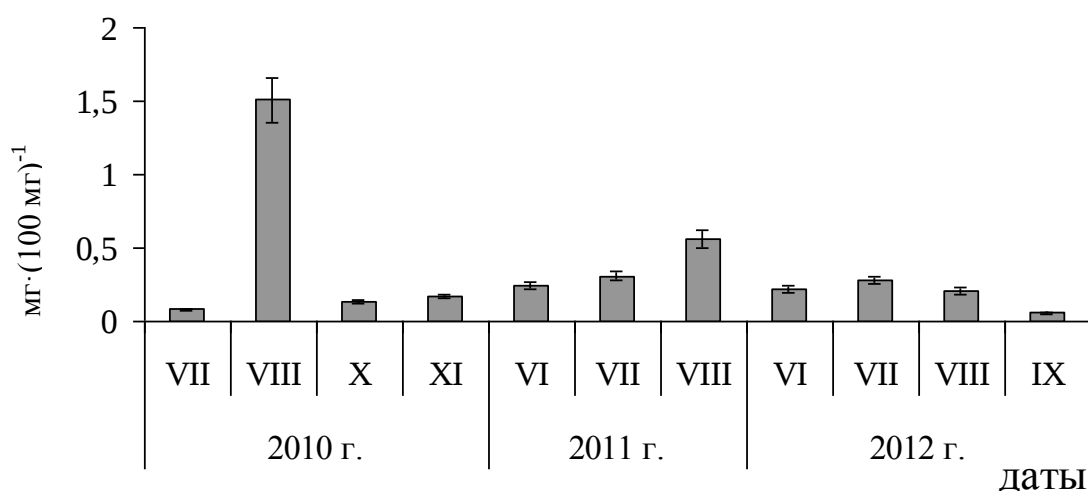


Рис. 4.4. Содержание НУ в *Z. noltii* в 2010 – 2012 гг.

На общем фоне резко выделяется высокий уровень концентрации НУ в zostере в августе 2010 г. Аналогичная картина наблюдается и в отношении содержания НУ в цистозире, взятой в том же районе бухты Казачья в августе 2010 г.

Среднее количество НУ в *Z. noltii* в 2010 г. составило $0,45 \pm 0,21$, в 2011-м – $0,17 \pm 0,03$, в 2012 г. – $0,19 \pm 0,04$ мг·(100 мг)⁻¹. Как описано выше, данные по цистозире были получены за аналогичный период.

Сравнение показателей содержания НУ в цистозире и zostере показало, что их средняя величина в этих макрофитах в пределах одного года практически одинакова (табл. 4.2).

Таблица 4.2

**Средние показатели содержания НУ в цистозире и зостере в
теплый период года, мг·(100 мг)⁻¹**

Организм	Годы	
	2010	2012
Цистозира	0,57±0,22	0,15±0,02
Зостера	0,45±0,21	0,19±0,04

Наблюдается тенденция снижения содержания НУ в макрофитах от 2010 г. к 2012 г. Подобное явление отмечено и для показателей содержания НУ в морской воде, о чём говорилось выше.

4.2. Нефтяные углеводороды в моллюсках, обитающих на макрофитах

В 1970-х годах в акватории Севастополя на цистозире в массовом количестве встречались два вида гастропод *Rissoa splendida* и *Bittium reticulatum*, предпочитающие малые глубины [69]. При этом численность *R. splendida* превышала таковую *B. reticulatum*.

Спустя 40 лет в тех же местах, где ранее по численности преобладала риссоа, доминирующим видов становится биттиум [68]. Таким образом, в прибрежных зарослях макрофитов постоянно в больших количествах встречаются два представителя гастропод, которые, естественно, должны играть существенную роль в биологических процессах, и в частности в потоках нефтяных углеводородов. Однако в холодное время года *B. reticulatum*, в отличие от *R. splendida*, смывают волны [69], что не дало возможности собрать необходимого для анализа количества материала по этому виду в зимний период.

4. 2. 1. О б и т а т е л и ц и с т о з и р ы. Содержание НУ в *Rissoa splendida* в тёплое время года изучали в 2010 и 2012 гг. на станциях Б и В (рис. 4.5). Также как и для самой цистозеры, в зарослях которой были собраны эти моллюски, максимальные значения НУ отмечены в августе 2010 г.

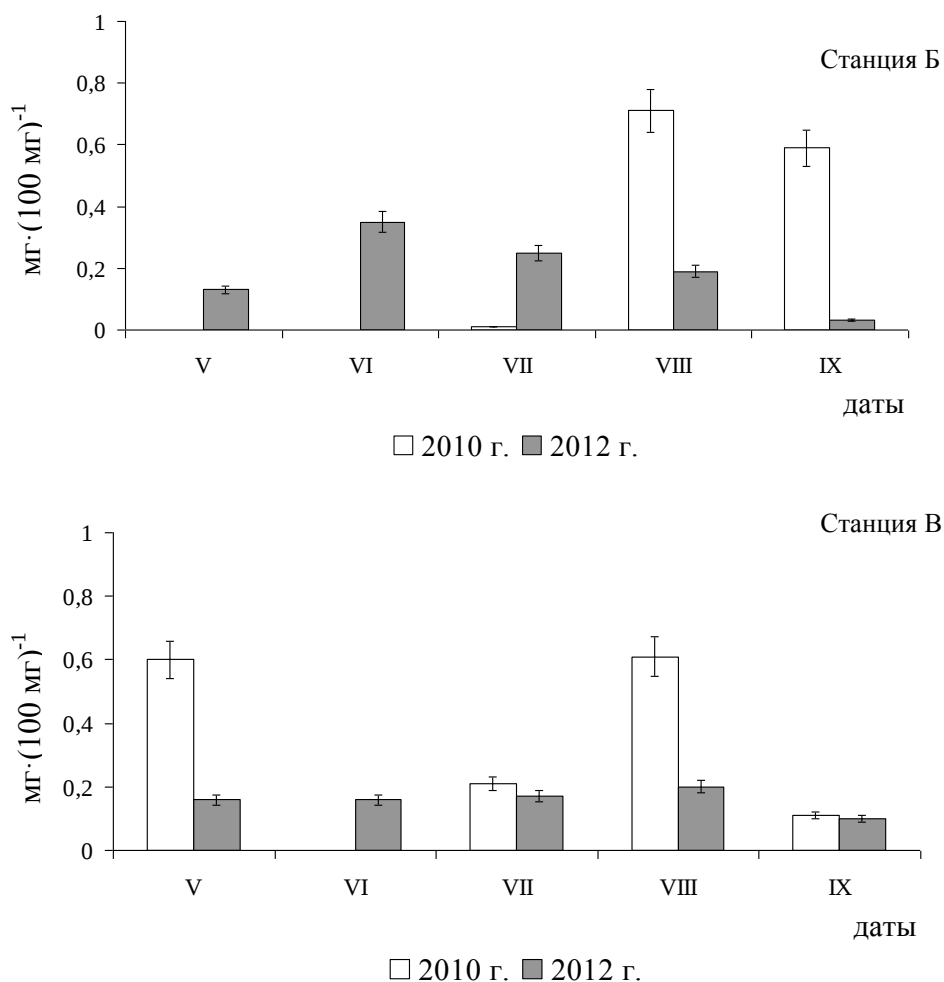


Рис. 4.5. Содержание НУ в *Rissoa splendida* на станциях Б (акватория Приморского бульвара) и В (парк Победы)

В 2010 г. на станции Б риссоа была собрана в октябре – декабре. Величины НУ составили 0,57, 0,12 и 0,11 мг·(100 мг)⁻¹. Несколько неожиданным стало содержание НУ в риссое в октябре, близкое к августовским величинам. Объяснение этому можно попытаться получить после анализа липидно-углеводородного состава гидробионтов, материалы которого будут представлены в следующем разделе.

Средние значения содержания НУ в *R. splendida*, собранной на станции Б (акватория Приморского бульвара) составляли в 2010 г. – $0,44 \pm 0,13$, в 2012-м – $0,19 \pm 0,04$ мг·(100 мг)⁻¹, а на станции В (рис. 4.5) – $0,38 \pm 0,1$ и $0,16 \pm 0,01$ мг·(100 мг)⁻¹ соответственно для 2010 г. и 2012 г. Очевидно, что количества НУ в моллюсках в обеих акваториях были близки.

В районе бухты Казачья (станция Г) моллюски рода *Rissoa* были представлены другим видом – *R. membranacea* (J. Adams). Среднее количество НУ в *R. membranacea* составило $0,97 \pm 0,4$ и $0,13 \pm 0,02$ мг·(100 мг)⁻¹ в 2010 г. и 2012 г. соответственно. Такое расхождение средних показателей обусловлено экстремально высоким уровнем НУ в мае 2010 г. (хотя и без этой величины средний уровень НУ в 2010 г. был выше, чем в 2012 г.) (рис. 4.6). При сравнении величин содержания НУ в обоих видах *Rissoa* значимых различий между ними не выявило.

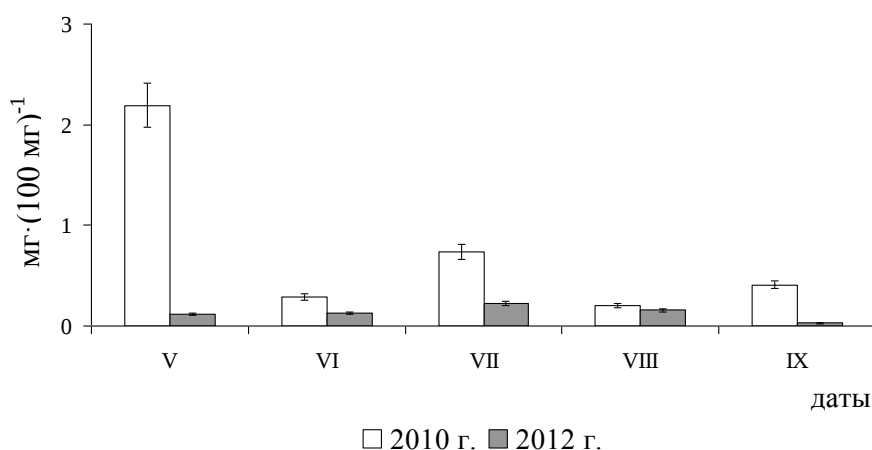


Рис. 4.6. Содержание НУ в *R. membranacea*, собранной на станции Г (бухта Казачья)

На станции Б биттиум обнаруживался в достаточном для анализа количестве всего 3 раза: в мае, июне и июле 2012 г. Среднее содержание НУ в них составило $0,18 \pm 0,04$ мг·(100 мг)⁻¹.

Интересно отметить, что на станции Б (рис. 4.7) в летние месяцы 2010 г. наблюдалось резкое снижение содержания НУ в тканях биттиума от июня к августу, тогда как в 2012 г. этот показатель был на одном уровне.

Среднее количество НУ в *B. reticulatum* на этой станции в 2010 г. составило $0,44 \pm 0,07$, а в 2012-м – $0,13 \pm 0,03$ мг·(100 мг)⁻¹.

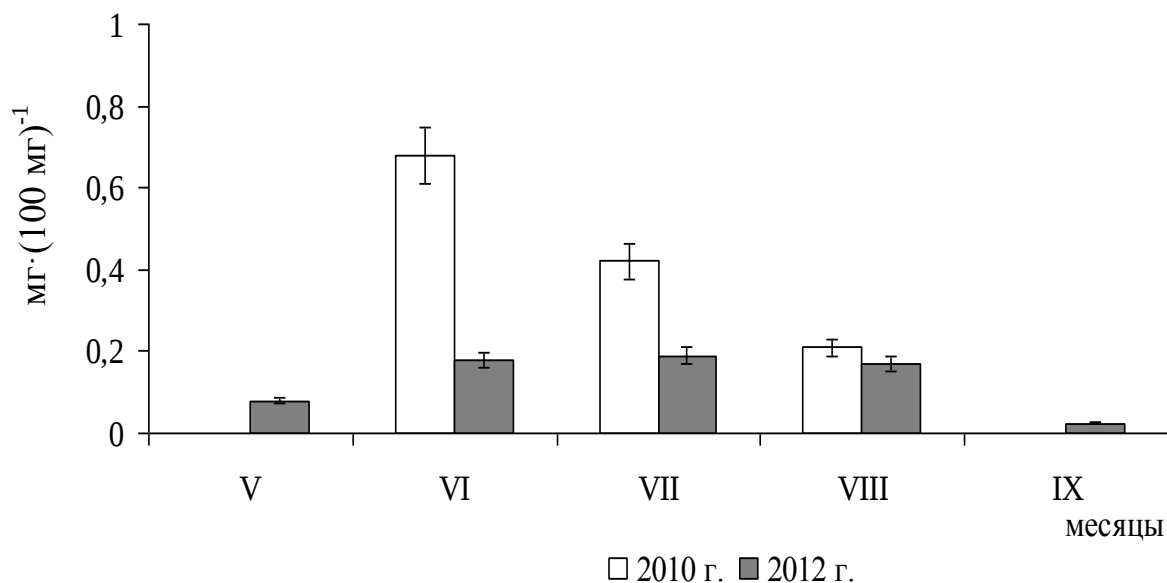


Рис. 4.7. Содержание НУ в *B. reticulatum*, на станции Б (акватория парка Победы)

На станции Г, также как и на станциях Б и В, наблюдалось колебание количества НУ в *B. reticulatum* в различные месяцы 2010-го года (рис 4.8).

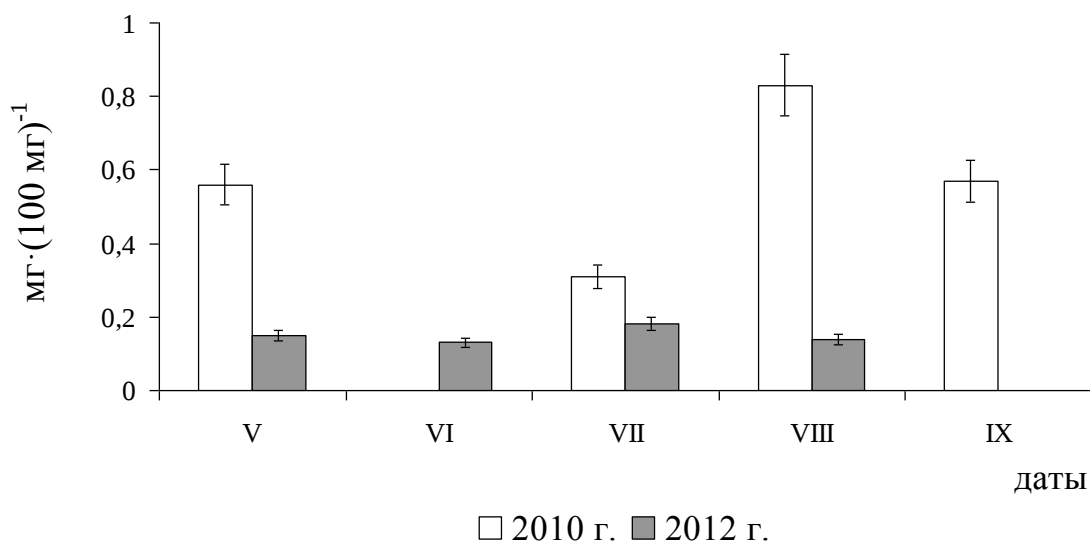


Рис. 4.8. Содержание НУ в *B. reticulatum*, собранного с цистозеры на станции Г (бухта Казачья)

В этой бухте средние значения НУ также были выше в 2010 г. – $0,57 \pm 0,06$ против $0,15 \pm 0,01 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$ в 2012-м. Скорее всего, это связано с общей тенденцией уменьшения концентрации нефтяных углеводородов в биологических объектах, наблюдаемой к 2012-му году, о чем говорилось в разделе 1.

Поскольку в пробах цистозеры, помимо массовых риссои и биттиума, встречались и другие моллюски (*Tricolia pullus*, *Gibbula divaricata*, мелкие *Mytilidae*), причём на станциях Б и В в весенне-осенний период *T. pullus* попадалась даже чаще биттиума, то мы, естественно, проанализировали содержание НУ и этих объектов. Среднее содержание НУ в триколии на станции Б составляло в 2010 г. $0,23 \pm 0,04$ и в 2012-м – $0,18 \pm 0,03 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$, что свидетельствует о практически постоянном уровне НУ в этом организме в акватории Приморского бульвара. На станции В в 2010 г. мы располагали только двумя пробами, собранными в июле и августе. Различия в показателях между этими месяцами были незначительны, однако общее содержание НУ в моллюсках было примерно в 2 раза выше по сравнению с 2012 г., когда пробы были получены в мае, июле-сентябре (рис. 4.9).

Средние величины НУ в 2012 г. в *Gibbula divaricata* были практически одинаковы в обеих акваториях: $0,11 \pm 0,03$ и $0,11 \pm 0,02 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$ соответственно для станций Б и В (рис. 4.9б). При этом абсолютные значения содержания НУ в тканях гиббулы в 2010 г. были выше.

Аналогичная картина наблюдалась в отношении величин НУ в митилидах (в основном *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1790)). Средние величины НУ в митилидах на станции Б составляли в 2010 г. – $0,26 \pm 0,06$, а в 2012-м – $0,18 \pm 0,04 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$, на станции В – соответственно $0,36 \pm 0,06$ и $0,14 \pm 0,03 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$ (рис. 4.9 в).

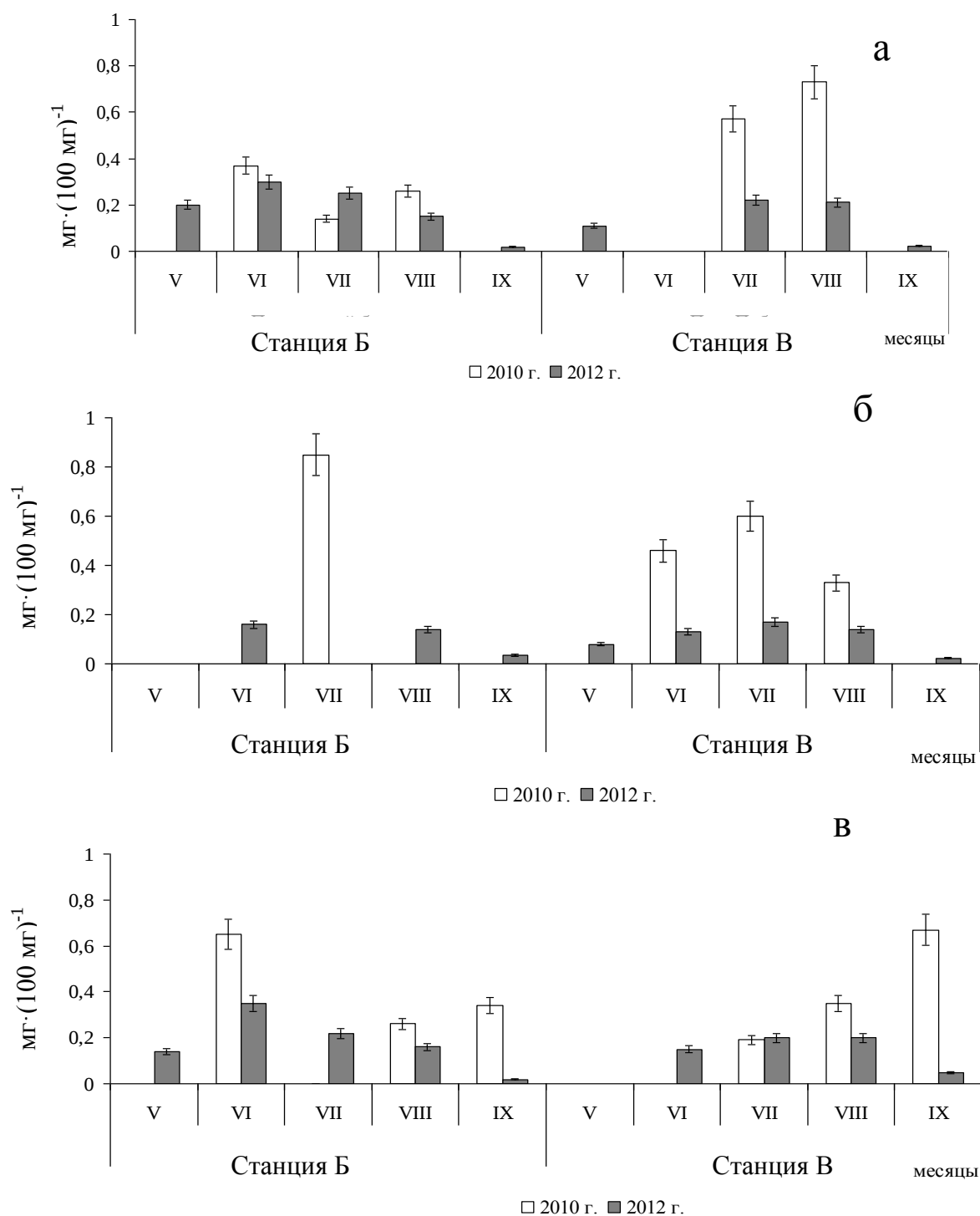


Рис. 4.9. Содержание НУ в *T. pullus* (а), *G. divaricata* (б) и *Mytilidae* (в)

Приведенные данные свидетельствуют, что в моллюсках, собранных с цистозир, обитающей на каменистом дне, величины НУ близки и практически не зависят от их видовой принадлежности.

4. 2. 2. О б и т а т е л и з о с т е р ы. Наиболее массовыми моллюсками, обитающими на *Z. noltii*, были *Rissoa membranacea* и *Bittium reticulatum*. В динамике содержания НУ в них прослеживается тенденция к уменьшению их количества с 2010 по 2012 гг. (рис. 4.10).

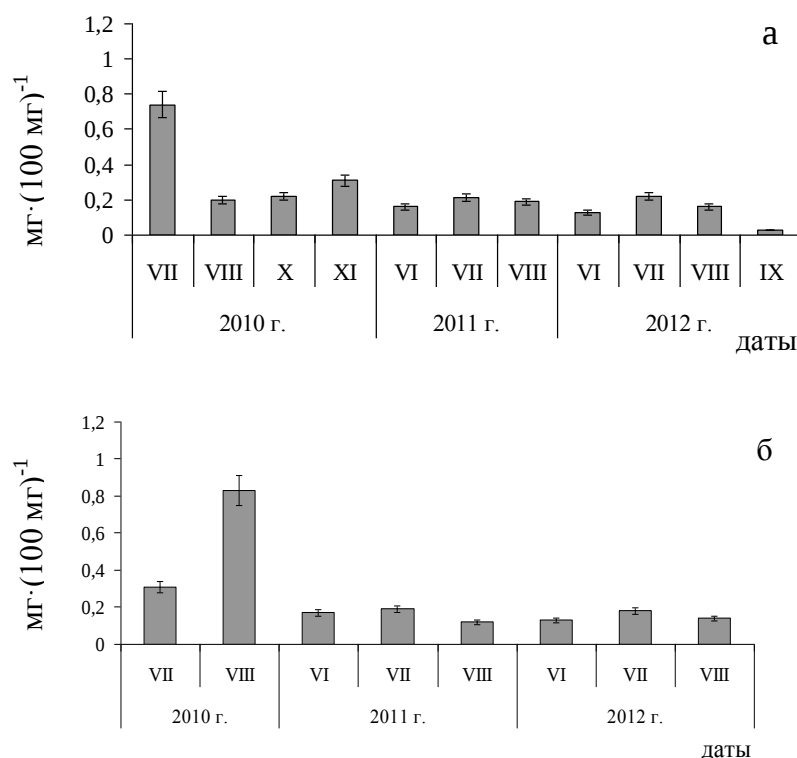


Рис. 4.10. Динамика содержания НУ в *R. membranacea* (а) и *B. reticulatum* (б), собранных на *Z. noltii* на станции Г

Так, среднее содержание НУ в риссое равнялось в 2010 г. $0,38 \pm 0,07$, в 2011 – $0,19 \pm 0,01$, а в 2012 – $0,14 \pm 0,02$ мг·(100 мг)⁻¹. Представленные величины НУ в организмах близки, достоверная разница между ними отсутствует.

Максимальное значение содержания НУ в биттиуме в бухте Казачья было зафиксировано в августе 2010 г. ($0,83$ мг·(100 мг)⁻¹), т.е. в летний период (рис. 4.10б), кстати, как и на станции Б.

Помимо массовых видов *R. membranacea* и *B. reticulatum* в зарослях зостеры в отдельные периоды в достаточном для анализа количестве встречались и другие моллюски – *T. pullus*, Mytilidae (в основном *Mytilaster*

lineatus) и *Parvicardium exiguum*. Содержание НУ в этих моллюсках было примерно одинаковым (в большинстве случаев в пределах ошибки метода) (рис. 4.11). Обратим внимание на встречаемость в зарослях zostеры в достаточном для анализа количестве *P. exiguum*, отсутствующего на цистозире.

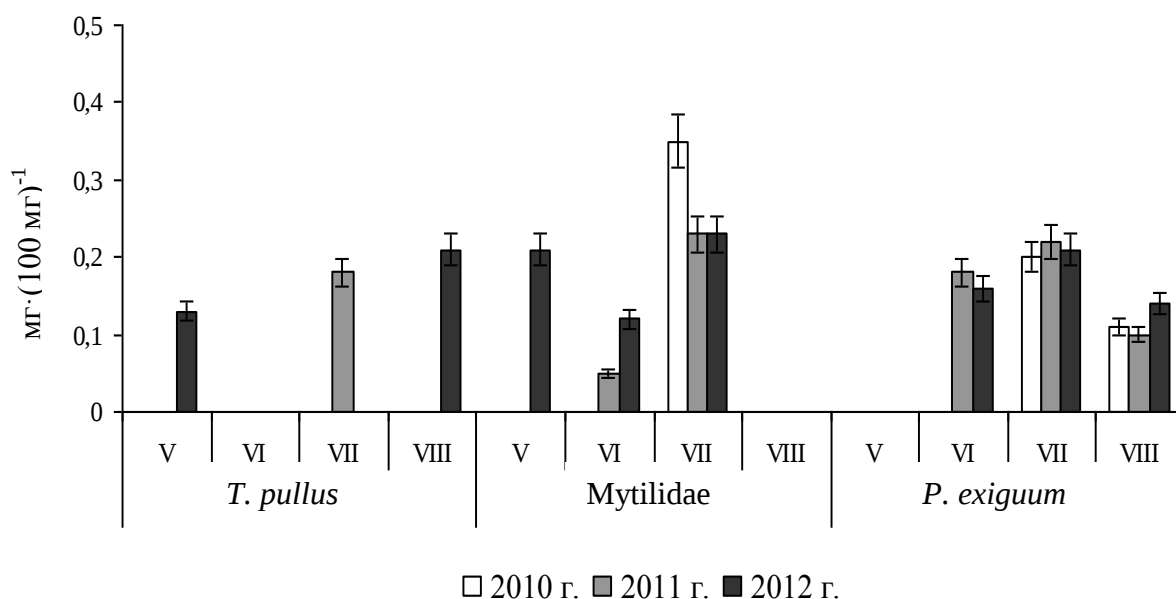


Рис. 4.11. Содержание НУ в *T. pullus*, *Mytilidae* и *P. exiguum* на станции Г

В целом уровень содержания НУ в моллюсках, собранных с zostеры, находится в тех же пределах, что и в собранных с цистозире. Отметим, что *Gibbula divaricata* встретила на zostере, в отличие от цистозире, только один раз – в мае 2010 г. и продемонстрировала аномально высокую величину НУ – $1,33 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$, что могло быть обусловлено загрязнением наружной поверхности раковины.

Полученные результаты показывают, что количество НУ в моллюсках фактически не зависит от таксономической принадлежности макрофита, на котором они обитали.

4.3. Микрופерифитон, покрывающий макрофиты

Как указывала еще Е.Б. Маккавеева [69], важную роль в жизни беспозвоночных, населяющих заросли макрофитов, играют микрообрастания, поселяющиеся на последних. Поскольку в литературе отмечалось, что отсутствует единая трактовка термина «перифитон», мы посчитали возможным использовать термин «микрופерифитон» для обозначения поселяющихся на макрофитах микроводорослей, бактерий, простейших и детрита, т.е. элементов, отнесённых к первому трофическому уровню зарослей макрофитов [69].

А.Н. Бобковой [12] была предпринята попытка изучить биохимический состав микрופерифитона на стеклянных пластинах, экспонирующихся в Севастопольской бухте на глубине 1 – 1,5 м. Однако углеводороды в составе слизистой плёнки его не определялись. Более подробный биохимический состав микрופерифитона, собранного со створок мидий в Севастопольской бухте, приведён в работе [23]. В ней в частности показано, что общее количество углеводородов находилось в пределах $2,8 - 4,2 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$. И ещё в одной работе есть информация о биохимическом составе микрופерифитона в соскобах, взятых с подводной части набережной Севастопольской бухты [109]. Содержание НУ здесь составляло $1,6 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$. Таким образом, можно констатировать, что материалы по биохимическому составу макроперифитона в Чёрном море представлены единичными и фрагментарными работами.

Мы исследовали содержание НУ в микрופерифитоне, собранном с цистозир на 3 станциях – в акватории Приморского бульвара (станция Б), парка Победы (станция В) и в Казачьей бухте (станция Г) (рис. 4.12).

Прежде всего обращают на себя внимание аномально высокие величины НУ, наблюдаемые в августе 2010 г. Аналогичная ситуация отмечена и в отношении других биологических объектов, о чём говорилось выше. Средние величины содержания НУ на станции Б составили в 2010 г. –

$0,89 \pm 0,29$, в 2012 г. – $0,17 \pm 0,02$ мг·(100 мг)⁻¹ при разбросе данных в 2010 г. от 2,51 до 0,28 мг·(100 мг)⁻¹. Крайне высокие показатели содержания НУ в августе 2010 г. повлекли за собой и большую величину средней.

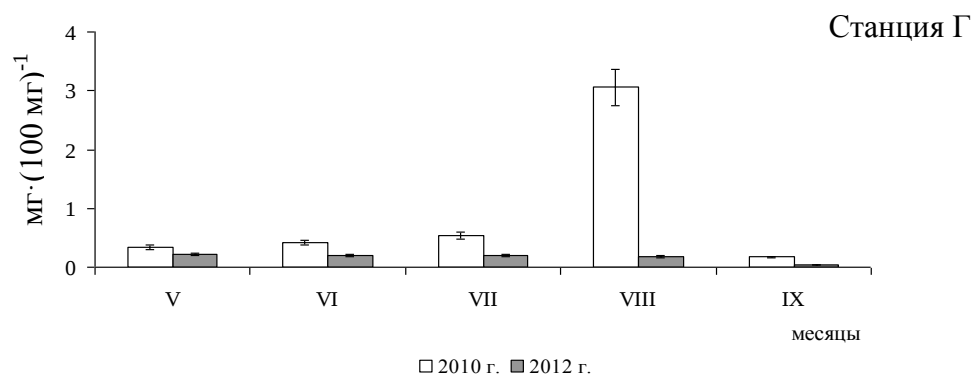
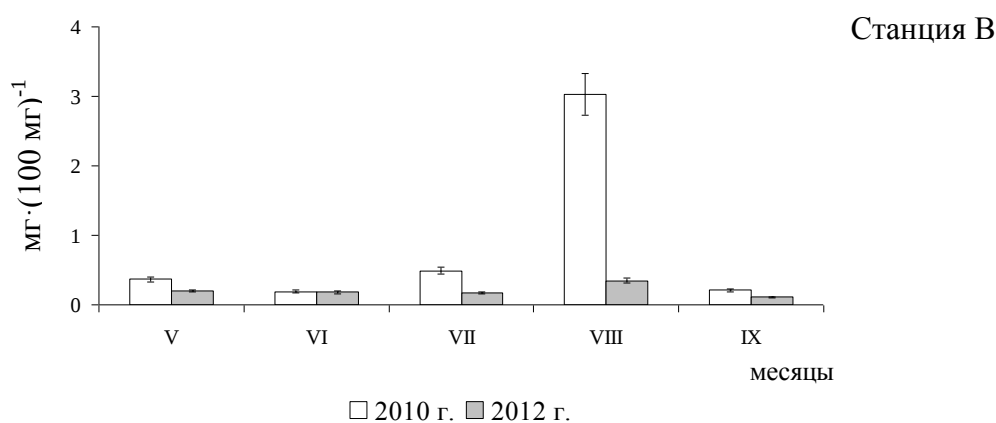
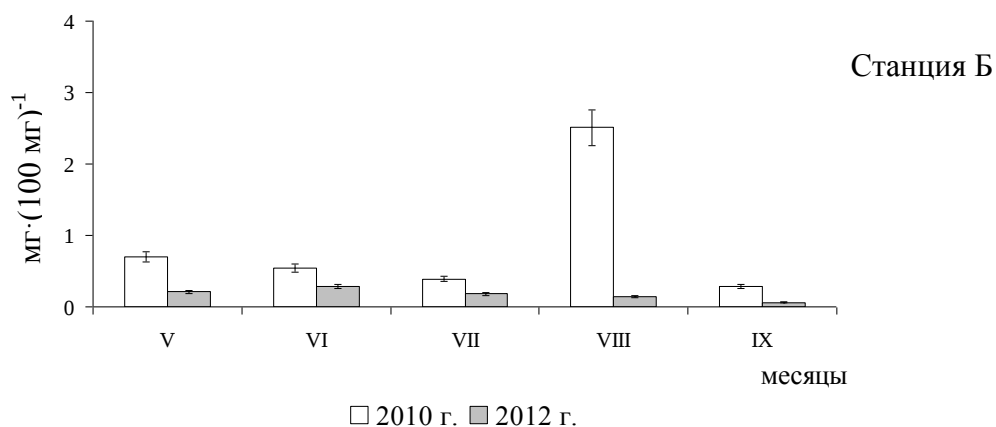


Рис. 4.12. Содержание НУ в микроперифитоне, собранном с *C. barbata* на станциях Б, В и Г в 2010 и 2012 гг.

Если же применить тест Диксона, мы получаем величину $0,48 \pm 0,07$ мг·(100 мг)⁻¹. Примечательно, что августовский выброс 2010 г. наблюдался

во всех трёх районах сбора материала. По-видимому, этот факт является достоверным, однако объяснить причину этого мы пока не можем. Возможно, в некоторой мере это связано с развитием в прибрежной акватории микроводорослей, данными по которым мы не располагаем. Забегая вперед отметим, что в этот же период мы не обнаружили увеличения количества общих липидов в микроперифитоне цистозеры, которое тесно связано с НУ. Данные за 2012 г. на станции Б были более однородными и характеризовались наиболее низкими (от 0,064 до 0,28 мг·(100 мг)⁻¹) значениями НУ в микроперифитоне (рис. 4.12).

Максимальные значения содержания НУ в микроперифитоне с цистозеры также отмечены на станции В в августе 2010 г. ($3,03 \pm 0,3$ мг·(100 мг)⁻¹) (рис. 4.12). При этом средние величины концентрации НУ в микроперифитоне с цистозеры из обоих районов – станций Б и В – практически одинаковы. Также как и в акватории Приморского бульвара, в 2012 г. на станции В концентрация НУ в микроперифитоне с мая по сентябрь, за исключением августа, была однородной. В августе наблюдалось почти 2-кратное повышение НУ по сравнению с другими месяцами.

Уровень содержания НУ в микроперифитоне с цистозеры на станции Г (рис. 4.12) близок к его содержанию в самой водоросли. Объяснение этому факту мы дали в разделе 1. Интересно отметить, что данные по НУ в микроперифитоне, полученные в этом районе в апреле, октябре, ноябре и декабре 2010 г., были совершенно одинаковы и составляли 0,39 мг·(100 мг)⁻¹ в каждом из них.

В рекреационном плане наибольший интерес в прибрежье юго-западного Крыма представляет конец лета – начало осени (август – сентябрь). Мы сравнили содержание НУ в микроперифитоне цистозеры в этот период на двух станциях – Б и В (табл. 4.2).

Напомним, что одна из них – станция Б располагается в акватории Приморского бульвара, где наблюдается интенсивное движение катеров, а в летний период здесь купаются люди. Вторая – станция В – находится в

акватории Парка Победы – излюбленном месте отпуска горожан и приезжих, к услугам которых здесь оборудовано несколько пляжей.

Таблица 4.2

**Содержание НУ в микроперифитоне с цистозеры в августе и
сентябре на двух станциях, мг·(100 мг)⁻¹**

Год	2010 г.		2012 г.	
Месяц	VIII	IX	VIII	IX
Станция Б	2,51	0,28	0,14	0,06
Станция В	3,03	0,21	0,35	0,11
Температура, С°	28	22	27	24

В 2010 г. концентрация НУ в микроперифитоне цистозеры на обеих станциях была примерно одинакова. В 2012 г. концентрация НУ на станции В была в два раза выше, чем на станции Б.

При сравнении концентрации НУ в микроперифитоне цистозеры в обоих районах видно, что её уровень в августе 2012 г. был на порядок ниже, чем в аналогичный период 2010 г. В сентябре эти различия были менее выражены, но также значимы. Объяснения этим флуктуациям концентраций НУ мы постараемся дать после рассмотрения материалов по другим объектам и районам.

В микроперифитоне с зостеры, как и в микроперифитоне с цистозеры, в августе 2010 г. наблюдалось резкое повышение содержания НУ на фоне практически равномерных величин в другие месяцы 2010 – 2012 гг. (рис. 4.13).

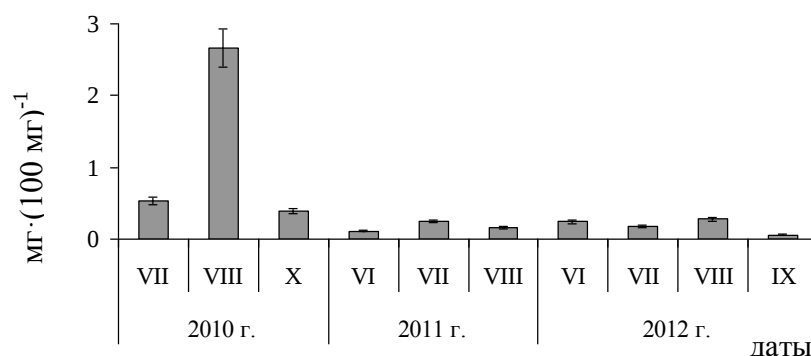


Рис. 4.13. Содержание НУ в микроперифитоне с *Z. noltii* на станции Г

При этом прослеживается та же тенденция снижения величин концентрации НУ от 2010 г. к 2012 г., что также отмечено выше.

Различия величин концентрации НУ в zostере и покрывающем её микроперифитоне статистически незначимы. Так, средние значения величины НУ за весь период наблюдения составили для *Z. noltii* $0,56 \pm 0,12$, а для микроперифитона – $0,62 \pm 0,15$ мг · (100 мг)⁻¹. Аналогичные результаты получены ранее для микроперифитона и цистозир. Возможно, что сами макрофиты, в данном случае *C. barbata* и *Z. noltii*, являются просто нейтральным субстратом, не отличающимся от искусственных (полиэтиленовых) имитаторов этих растений, используемых в экспериментах, что приводит к одинаковой интенсивности поселения на них микроводорослей. Известно, что первичная слизистая плёнка (начальный этап обрастания), состоящая в основном из бактерий и микроводорослей, прочно прикрепляется к подводному объекту, в данном случае к макрофитам [27]. Вероятно, при смыве микроперифитона его определённая часть остаётся на поверхности подводных растений, внося основной вклад в величину НУ в макрофитах.

В этой связи мы исследовали содержание НУ в цистозире до и после смыва с неё микроперифитона (рис. 4.14). Аналогичные работы выполнены и в отношении zostеры (рис. 4.15).

Как видно из представленных данных, статистически значимой разницы между содержанием НУ в макрофитах до и после смыва с них микроперифитона не обнаружено.

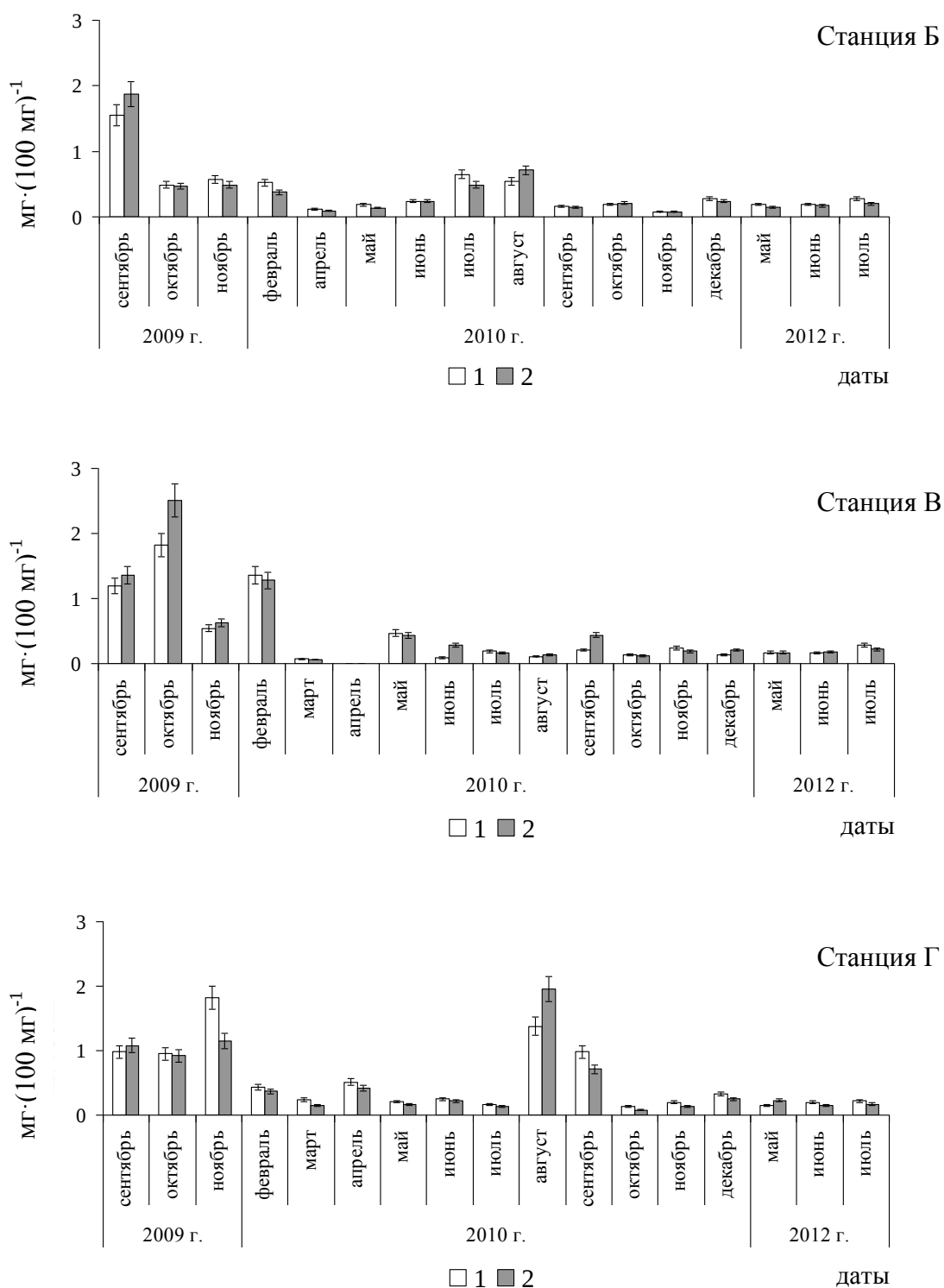


Рис. 4.14. Содержание нефтяных углеводородов в *C. barbata* до (1) и после смыва (2) микроперифитона, $\text{мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$ на станциях Б, В и Г в акватории Севастополя

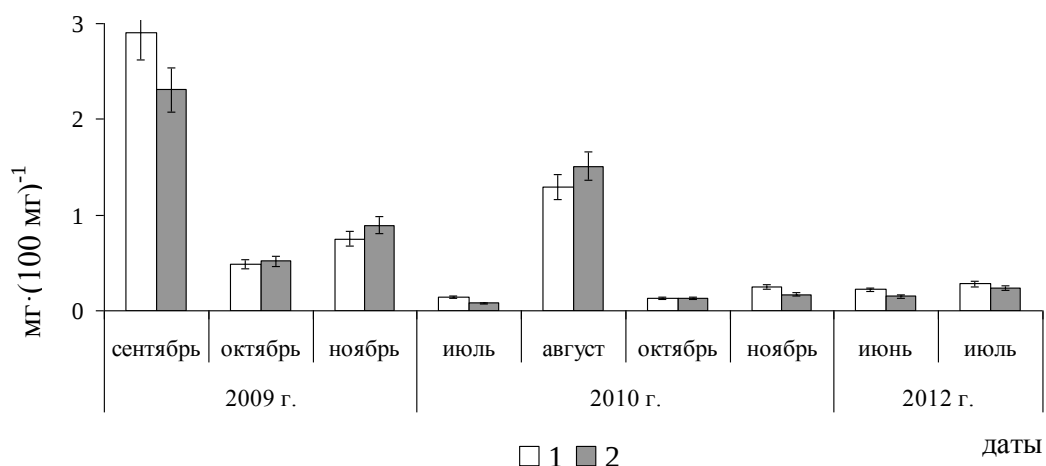


Рис. 4.15. Содержание нефтяных углеводородов в *Z. noltii* до (1) и после (2) смыва микроперифитона, $\text{mg} \cdot (100 \text{ mg})^{-1}$

И, наконец, ещё одна группа, входящая в состав микроперифитона – бактерии.

Мы не ставили перед собой задачу изучения простейших и детрита, как составных частей микроперифитона на предмет содержания в них НУ, однако о бактериях всё же необходимо сказать несколько слов в связи с их особой ролью в преобразовании органических веществ.

Бактерии являются первым звеном в трансформации НУ и неотъемлемой частью общего биопереноса углеводородов, осуществляемого другими гидробионтами [96].

Представленные в микроперифитоне бактерии и микроводоросли в большинстве своём относятся к бентопланктонным формам. Сообщество микроорганизмов в воде, о чём говорилось выше, в данном случае является не отдельным изолированным звеном в потоке НУ, а представляет единый микроуровень начального биопотока НУ в прибрежных зарослях.

Бактериальному населению морской среды в акватории юго-западного Крыма посвящено большое количество работ, которые проанализированы в обзоре [74]. В частности установлены численность, закономерности распределения и биохимические особенности гетеротрофных, включая нефтеокисляющие, бактерий. И всё же объем исследований этой группы

микроорганизмов в различных участках акватории юго-западного Крыма не одинаков. Более того, микрофлора в узкой прибрежной зоне, выбранной нами для исследований, практически не изучалась. В то же время информация о численности бактериального населения, в частности представителей группы нефтеокисляющих бактерий в акватории проведения наших работ позволит уточнить данные о потоках нефтяных углеводородов в прибрежной зоне моря.

При оценке величины НУ в том или ином звене биопереноса (включая накопление в гидробионтах) мы имеем конкретные величины, полученные путем измерения. Что касается бактериальной составляющей, то в данном случае можно говорить о потенциальной деструкции нефти, исходя из численности нефтеокисляющих бактерий, и в целом о конечной стадии существования нефтяного загрязнения в море, поскольку бактериальное сообщество фактически разрушает нефтяные углеводороды до CO_2 и H_2O . На каждом этапе деструкционного процесса количество отдельных компонентов нефти может меняться. К примеру, показано увеличение смол и уменьшение алканов при прохождении нефти через кишечник мидий. Можно полагать, что вместе с микроводорослями в кишечник питающихся ими гастропод попадают нефтеокисляющие бактерии, которые преобразуют нефть аналогично мидиям [93].

Численность определяемых групп бактерий в микроперифитоне, как на любом субстрате, в сотни и тысячи раз больше, чем в морской воде.

Отметим, что в случае с бактериями нефтяной поток может прерываться на уровне бактериальной клетки, накопившей энергию НУ. Далее энергия, полученная бактериями от НУ, передается клетками бактерий по пищевой цепи организмам-бактериофагам, например, свободноживущим и прикрепленным формам простейших, что является предметом отдельных исследований, не входящих в нашу задачу.

В этой связи мы посчитали целесообразным провести изучение общего количества гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий в морской воде в одном из районов сбора материала (бухта Казачья).

Помимо решения основной задачи – накопления НУ в прибрежной биоте – сведения о названных группах бактерий дают дополнительный материал для экологической оценки состояния акватории восточного рукава бухты. Более того, по этим данным можно косвенно судить о численности нефтеокисляющих бактерий в микроперифитоне как субстрате для развития бактериального сообщества.

Данные по количеству микроорганизмов в морской воде были получены в акватории проведения работ на станции Г в бухте Казачья (рис. 4.16).

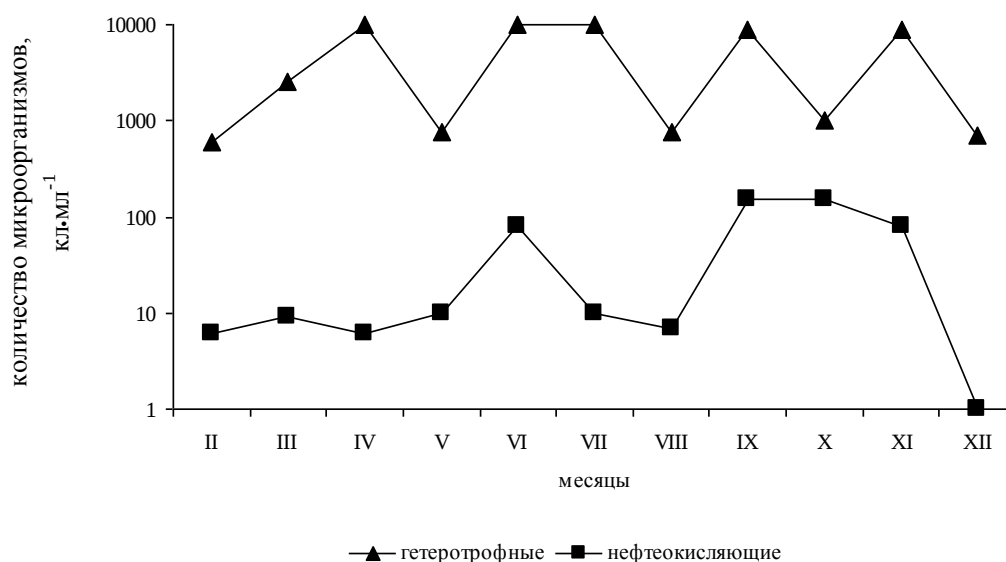


Рис. 4.16. Динамика численности общего количества гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий в морской воде бухты Казачьей в 2010 г., (кл·мл⁻¹)

Значительное превышение общего количества гетеротрофных бактерий над группой бактерий, способных использовать углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода и энергии, свидетельствует о слабом нефтяном загрязнении акватории. Последнее подтверждается

данными химического определения нефтяных углеводородов, которые в среднем составляли $0,04 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и не превышали ПДК.

Отметим, что численность нефтеокисляющих бактерий не имеет линейной зависимости от концентрации НУ в воде, особенно при высоких уровнях загрязнения моря нефтью. В то же время при низких концентрациях нефти, близких к предельно допустимым, когда нефтепродукты в море находятся в виде мельчайшей эмульсии, зависимость приближается к линейной. На эту зависимость помимо гидродинамических процессов могут влиять и сроки пребывания нефти в морской воде. Последнее связано с тем, что на капельках нефти образуется многослойная бактериальная оболочка, которая осумковывает нефть и изолирует ее от внешней среды. Поэтому в каждом конкретном случае может наблюдаться значительное отклонение от прямой линейной зависимости.

Среднегодовая численность гетеротрофных бактерий в наших исследованиях равнялась $4700 \text{ кл} \cdot \text{мл}^{-1}$, при колебаниях от 250 до $15000 \text{ кл} \cdot \text{мл}^{-1}$. Средняя величина численности нефтеокисляющих микроорганизмов составляла $23 \text{ кл} \cdot \text{мл}^{-1}$, при колебаниях от 1 до $45 \text{ кл} \cdot \text{мл}^{-1}$. Полученные нами показатели численности микрофлоры близки к данным для западного рукава бухты Казачьей [9], а также для других участков прибрежных вод юго-западного Крыма [81].

По данным [110] численность этих групп микроорганизмов в микроперифитоне в 2 – 3 порядка выше.

Таким образом, в результате изучения содержания НУ в массовых организмах зарослевых сообществ прибрежной зоны Севастополя установлено:

- Содержание НУ в цистозире и zostере практически одинаково в пределах одного года.
- Содержание НУ в массовых моллюсках зарослевых сообществ цистозире и zostеры было близким и практически не зависело от видовой принадлежности организмов.

- В микроперифитоне zostеры, как и в микроперифитоне цистозире в августе 2010 г. наблюдалось резкое повышение содержания НУ на фоне практически равномерных величин в другие месяцы 2010 и 2012 гг.
- Прослеживается тенденция снижения величин концентрации НУ во всех биологических объектах от 2010 к 2012-му году.
- Общая численность гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий находилась в пределах величин, характерных для морских акваторий, не подвергающихся интенсивному загрязнению.

По материалам данного раздела диссертации опубликованы следующие работы: [74, 78, 79, 83, 84, 86, 187, 188].

РАЗДЕЛ 5

ОБЩИЕ ЛИПИДЫ В ОРГАНИЗМАХ, ОБИТАЮЩИХ НА МАКРОФИТАХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВАСТОПОЛЯ

Изучению липидного состава черноморских организмов посвящён ряд работ, выполненных в 1980-х гг. и в последующем обобщённых в соответствующих монографических публикациях отдела морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ [11, 18, 92]. Несколько лет назад эти исследования возобновились, их первые результаты вошли в монографию, посвящённую санитарно-биологическим исследованиям в прибрежной акватории региона Севастополя [140]. В скобках заметим, что в этих исследованиях объектами изучения были в основном морские животные. О липидном составе макрофитов, обитающих в прибрежных водах Чёрного моря, известно очень мало [140].

5.1. Общие липиды в макрофитах

Подробный анализ содержания общих липидов (ОЛ) в макрофитах прибрежной акватории в задачу настоящей работы не входил. Мы определяли это соединение, как фактор, способный оказать влияние на уровень концентрации НУ в гидробионтах.

Материалы для изучения содержания ОЛ в цистозире и обитающих на ней микроперифитоне и риссое были собраны на участках с каменистым дном в сентябре – ноябре 2009 и феврале 2010 гг., а результаты их изучения представлены в [82] (рис. 5.1).

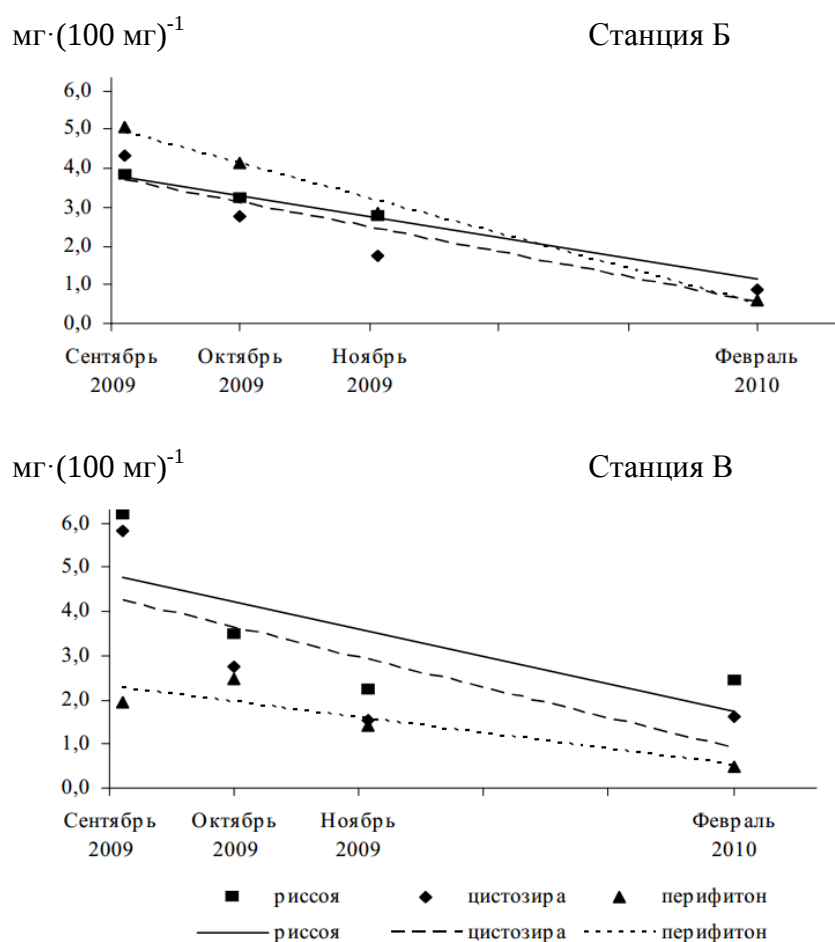


Рис. 5.1. Содержание общих липидов в риссое, цистозире и микроперифитоне, собранном с цистозир (линии соответствуют трендам, описывающим тенденцию изменения за период наблюдения): на станциях Б и В

На обеих станциях во всех исследованных объектах – цистозире, риссое и микроперифитоне – наблюдалось снижение уровня содержания общих липидов от осенних месяцев к зимним, что наглядно иллюстрируют построенные линии трендов. К сожалению, из трёх зимних месяцев 2009 – 2010 гг. пробы были отобраны только в феврале, так как погодные условия не позволили отобрать их в декабре 2009-го и январе 2010 гг.

И все же в результате выполненной работы впервые были получены сведения о липидном составе цистозир – *C. barbata* и некоторых организмов, обитающих на ней.

В дальнейшем в 2010 и 2012 гг. в тёплое время года с мая по сентябрь было продолжено изучение липидного состава самой цистозеры и живущих на ней гидробионтов (рис. 5.2).

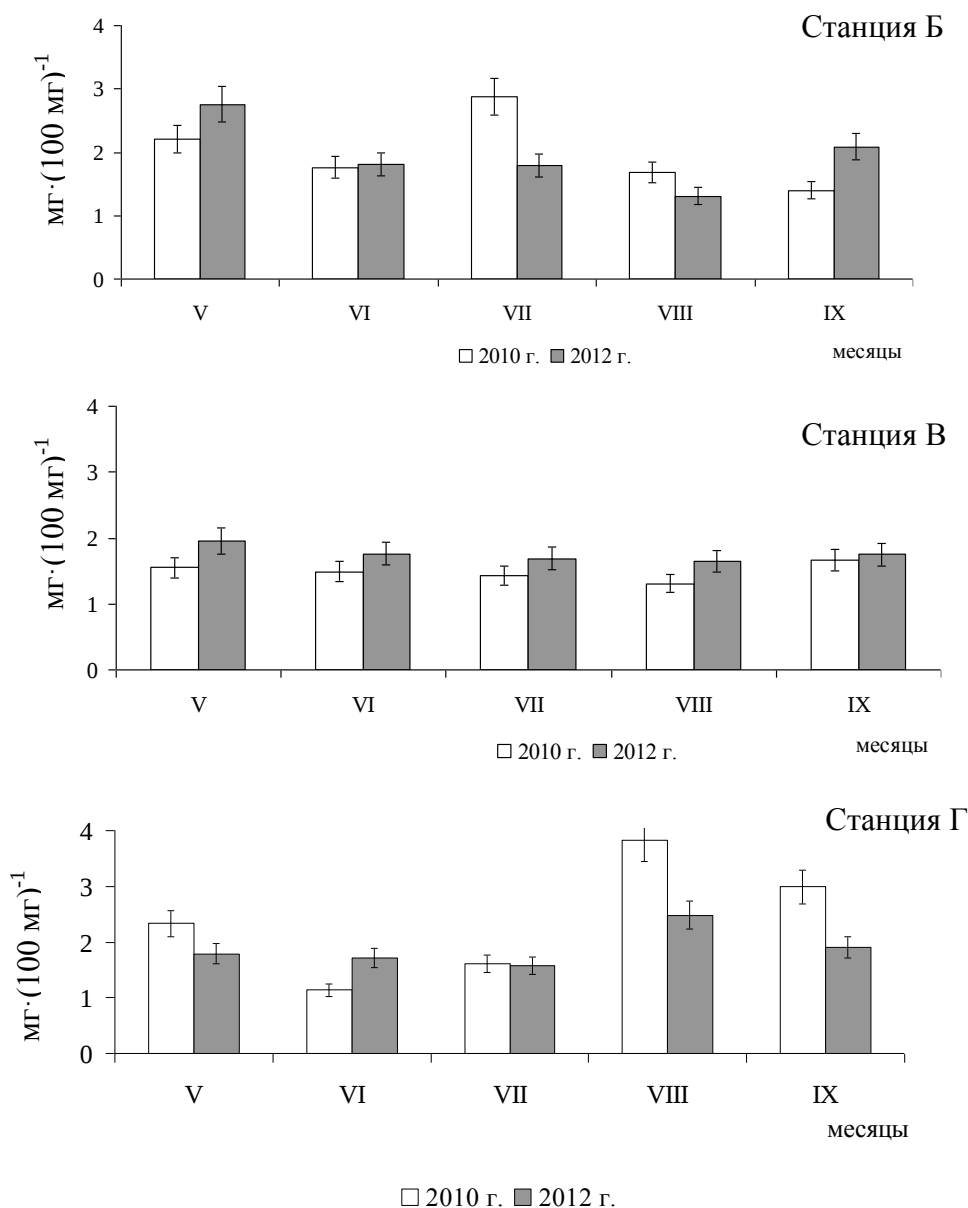


Рис. 5.2. Содержание общих липидов в *C. barbata* на станциях Б, В и Г в 2010 и 2012 гг.

Во всех трёх районах уровень содержания ОЛ в цистозире за 2 года наблюдений был практически одинаков, о чём свидетельствуют средние данные за пятимесячный период наблюдения в 2010 и 2012 гг.: соответственно $1,99 \pm 0,12$ и $1,95 \pm 0,17$ мг·(100 мг)⁻¹ – на станции Б, $1,49 \pm 0,11$ и $1,76 \pm 0,15$ мг·(100 мг)⁻¹ – на станции В; $2,38 \pm 0,21$ и $1,89 \pm 0,17$ мг·(100 мг)⁻¹

на станции Г. В то же время в отдельные месяцы отмечалось заметное различие в величине содержания ОЛ в цистозире, особенно на станции Б и Г (рис. 5.2).

В отличие от станций Б и Г (акватория Приморского бульвара и бухта Казачья), содержание ОЛ в цистозире, собранной на станции В (мелководье парка Победы), было более равномерным. Достоверно (при $p=0,05$) установлены более высокие показатели содержания общих липидов в водорослях станции В в 2012 г. по сравнению с 2010 г. (рис. 5.2В).

В 2010 г. погодные условия позволили собрать материал в холодное время года. Из полученных результатов следует, что среднее количество общих липидов в цистозире на станциях В и Б станции составляло соответственно $1,74 \pm 0,18$ и $1,49 \pm 0,18$ мг·(100 мг)⁻¹ и статистически не различалось между собой (табл. 5.1). В то же время в некоторые месяцы, например, в феврале, октябре и ноябре, эти различия были существенны.

Таблица 5.1

Содержание общих липидов в цистозире на станциях Б и В в акватории Севастополя в 2010 г., мг·(100 мг)⁻¹

Район	Месяцы						
	II	III	IV	X	XI	XII	среднее
Станция Б	0,87 ± 0,1	-	1,79± 0,2	2,00± 0,1	1,07± 0,1	1,7± 0,1	1,49± 0,17
Станция В	1,63 ± 0,3	2,48± 0,3	1,5± 0,2	1,07± 0,1	2,31± 0,2	1,46± 0,1	1,74± 0,18

Если сравнить средние величины содержания ОЛ в цистозире в тёплые и холодные периоды (на примере 2010 г.), то различия статистически не существенны. Если же сравнить данные за октябрь и ноябрь 2009 г. с таковыми за эти же месяцы 2010 г., то мы также не увидим значительной разницы.

Поскольку у морских трав рода *Zostera* активная вегетации приходится на тёплое время года, а в зимний период наблюдается опадание листьев, то сбор материала осуществляли в основном в летний сезон.

Приведенные на рис. 5.3 данные свидетельствуют, что средняя концентрация ОЛ в zostере на протяжении всего периода наблюдений была на уровне $3,22 \pm 0,34 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$.

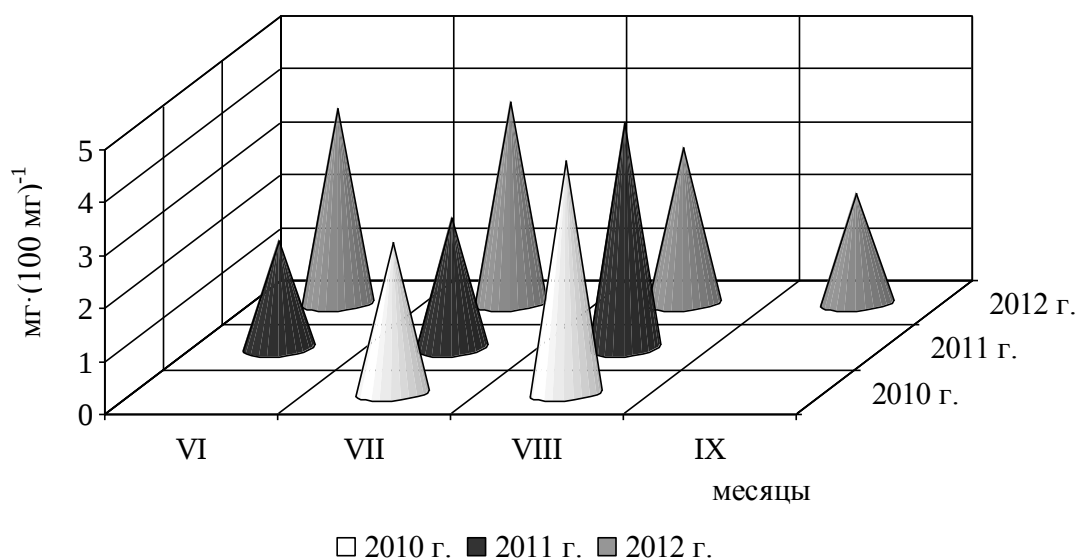


Рис. 5.3. Содержание общих липидов в *Z. noltii* на станции Г (бухта Казачья) в июне – сентябре 2010 – 2012 гг.

Сравнив средние величины содержания общих липидов в цистозире и zostере за весь период наблюдения, мы можем отметить превышение такового в zostере.

5.2. Общие липиды в моллюсках, обитающих на макрофитах

5. 2. 1. О б и т а т е л и ц и с т о з и р ы. Для определения величин содержания общих липидов в моллюске *Rissoa splendida* материал был собран на 3-х станциях в 2010 и 2012 гг. (рис. 5.4). Оказалось, что средние величины ОЛ в риссое на станции Б в 2010 г. и 2012 г. статистически не различались, составляя соответственно $1,35 \pm 0,09$ и $1,55 \pm 0,2 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$.

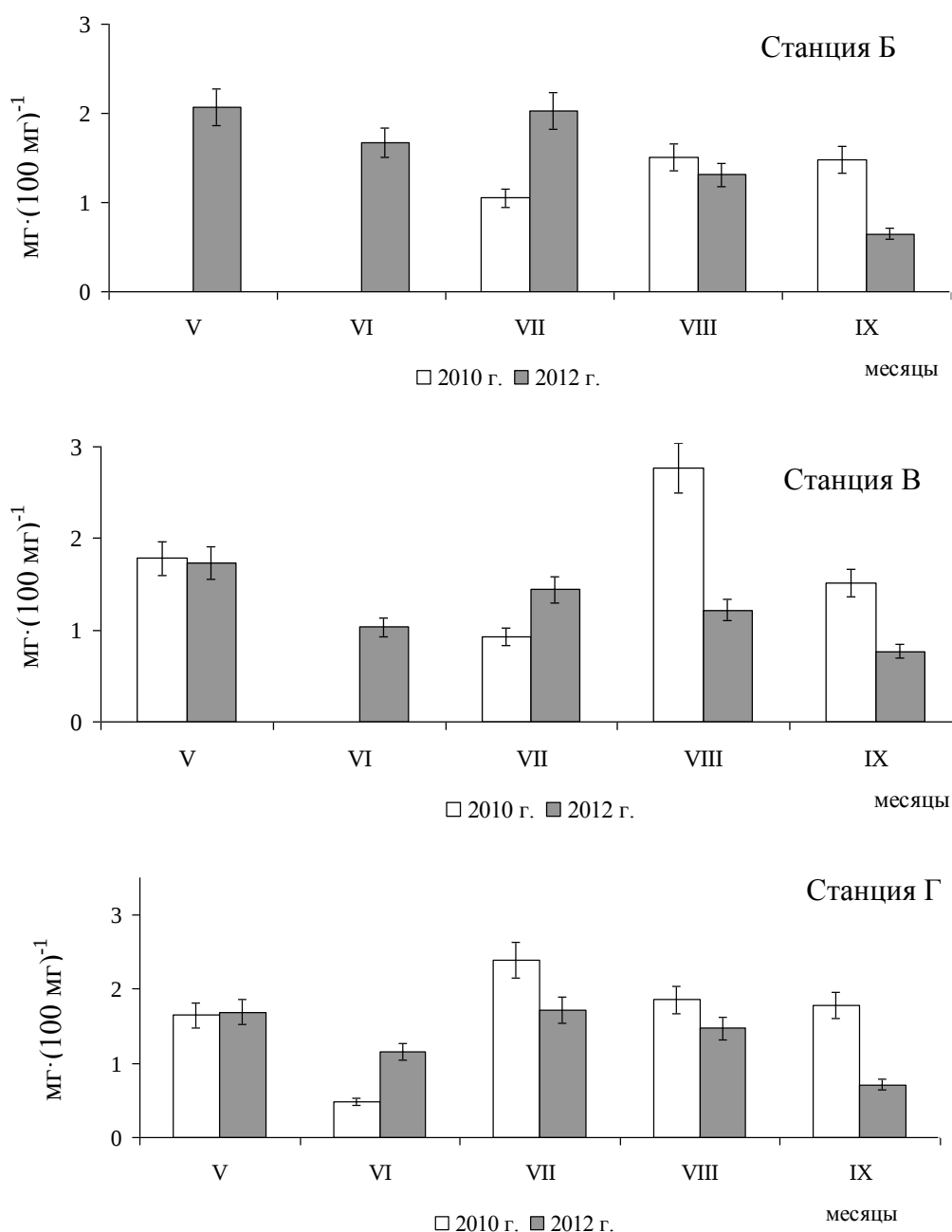


Рис. 5.4. Содержание общих липидов в *R. splendida*, собранной с цистозеры на станциях Б, В и Г

На станции В средняя величина содержания общих липидов в риссое из акватории парка Победы в 2010 и 2012 гг. составляла соответственно $1,75 \pm 0,23$ и $1,24 \pm 0,12 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$ и так же, как на станции Б статистически достоверной разницы здесь не выявлено.

Аналогичные результаты по концентрации ОЛ в риссое получены у моллюсков, живущих на цистозире, развивающейся на отдельных валунах в

бухте Казачья (станция Г). Средний уровень этих соединений в них в 2010 и 2012 гг. равнялся $1,63 \pm 0,15$ и $1,35 \pm 0,14$ мг·(100 мг)⁻¹ соответственно.

В 2010 г. удалось определить общие липиды в риссое, собранной на станции В (акватория парка Победы) не только в тёплый период, но и в другие сезоны года (табл. 5.2).

Таблица 5.2

**Содержание общих липидов в *R. splendida* на станции В в холодное время
2010 г., мг·(100 мг)⁻¹**

Месяцы						
II	III	IV	X	XI	XII	Среднее
$1,22 \pm 0,1$	$1,36 \pm 0,1$	$1,11 \pm 0,1$	$2,02 \pm 0,2$	$1,36 \pm 0,1$	$0,63 \pm 0,1$	$1,28 \pm 0,12$

Среднее количество общих липидов в риссое в холодный период года составляло $1,28 \pm 0,12$ мг·(100 мг)⁻¹ и было близким к таковому в теплое время.

Изучение содержания общих липидов в другом массовом представителе гастропод – *Bittium reticulatum* выполнено на материале двух станций – В и Г. Динамика содержания общих липидов в тёплый период 2010 и 2012 гг. для обеих станций практически совпадает, абсолютные величины по месяцам также близки и находятся в пределах статистической ошибки (рис. 5.5).

В биттиуме со станции В (акватория Парка Победы) содержание ОЛ составляло в среднем $1,48 \pm 0,12$ и $0,93 \pm 0,13$ мг·(100 мг)⁻¹ соответственно в 2010 и 2012 гг. Эти же химические соединения в моллюсках со станции Г (бухта Казачья) – в 2010 г. $1,24 \pm 0,11$ и в 2012 г. $1,17 \pm 0,1$ мг·(100 мг)⁻¹, т.е. были практически одинаковы. За два года наблюдений средние величины содержания ОЛ по районам совпадали полностью: $1,21 \pm 0,2$ и $1,21 \pm 0,03$ мг·(100 мг)⁻¹ соответственно на станциях В и Г.

На станции Б (акватория Приморского бульвара) биттиум удавалось собирать только эпизодически. В результате у нас имеются данные по содержанию общих липидов в этих моллюсках только за июнь и июль 2010-го и май – июль 2012 гг. При этом в 2010 г. наблюдались большие

колебания величин: в июне содержание общих липидов в биттиуме составляло 1,56, а в июле – 0,8 мг·(100 мг)⁻¹. В 2012 г. эти данные выглядят следующим образом: май – 1,13, июнь – 1,3, июль – 1,46 мг·(100 мг)⁻¹; средняя величина за 3 месяца была равна 1,29±0,05 мг·(100 мг)⁻¹.

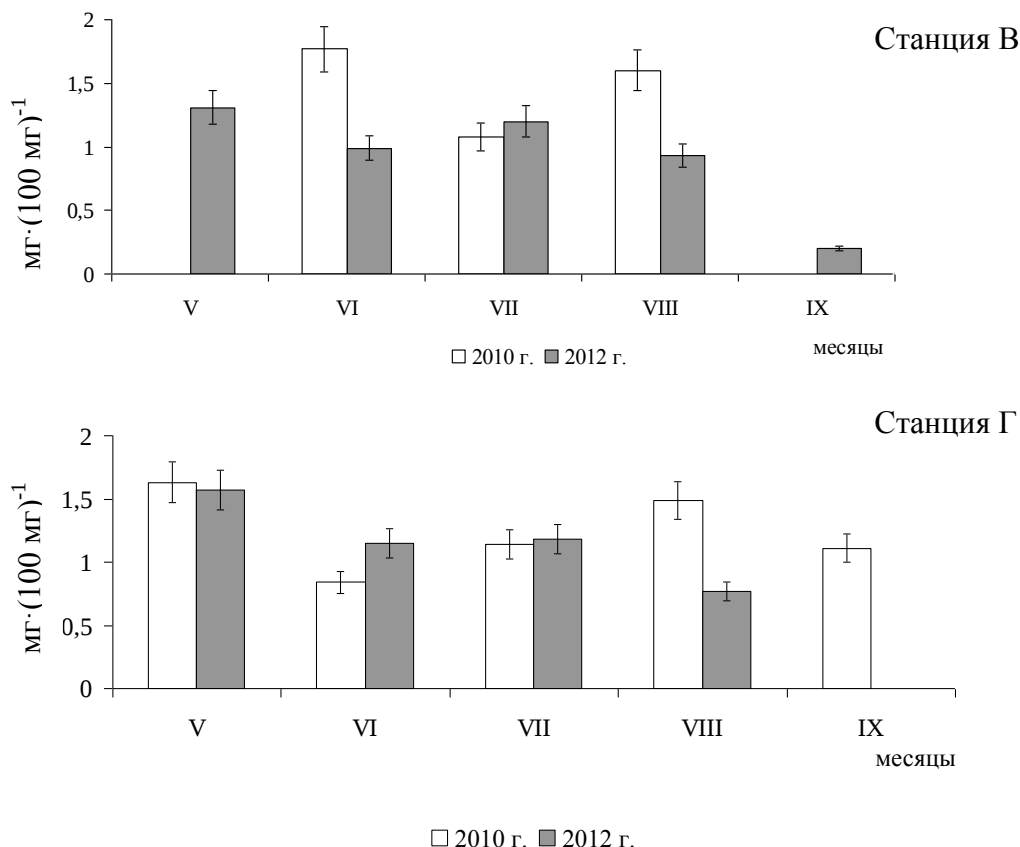


Рис. 5.5. Содержание общих липидов в *B. reticulatum*, собранного с цистозеры на станциях В и Г в 2010 и 2012 гг.

В октябре и ноябре 2010 г. количество ОЛ в биттиуме, собранном на станции Г (бухта Казачья), составило соответственно 1,56±0,2 и 1,06±0,1 мг·(100 мг)⁻¹. Эти показатели находились в пределах тех же величин, что и у биттиумов, добытых на этой станции в тёплый период года. В целом они мало отличались и от величин общего содержания липидов у этих моллюсков на других станциях.

Выше уже было отмечено, что помимо массовых видов – риссои и биттиума – с мая по сентябрь в зарослях цистозеры встречались также и другие моллюски – триколия, гиббула и митилиды. Встречаемость этих

моллюсков в количестве, достаточном для анализа липидов, была неравномерной как по годам, так и по районам (рис. 5.6). К примеру, в 2012 г. количество проб было в 1,6 большим, чем в 2010-м. Наиболее неудачной для сбора гиббулы оказалась акватория Приморского бульвара (станция Б) – 3 пробы в 2012-м и всего одна в 2010 г.

Как видно из приводимого рисунка (рис. 5.6), достоверной разницы между средним количеством общих липидов в триколии, собранной на станции Б в 2010 и 2012 гг. ($1,31 \pm 0,01$ и $1,25 \pm 0,2$ мг·(100 мг)⁻¹ соответственно), не отмечено. Что касается триколии со станции В (акватория парка Победы), то содержание ОЛ в 2012 г. у неё было в 1,5 меньше, чем в 2010 г. ($0,79 \pm 0,14$ против $1,11 \pm 0,29$ мг·(100 мг)⁻¹).

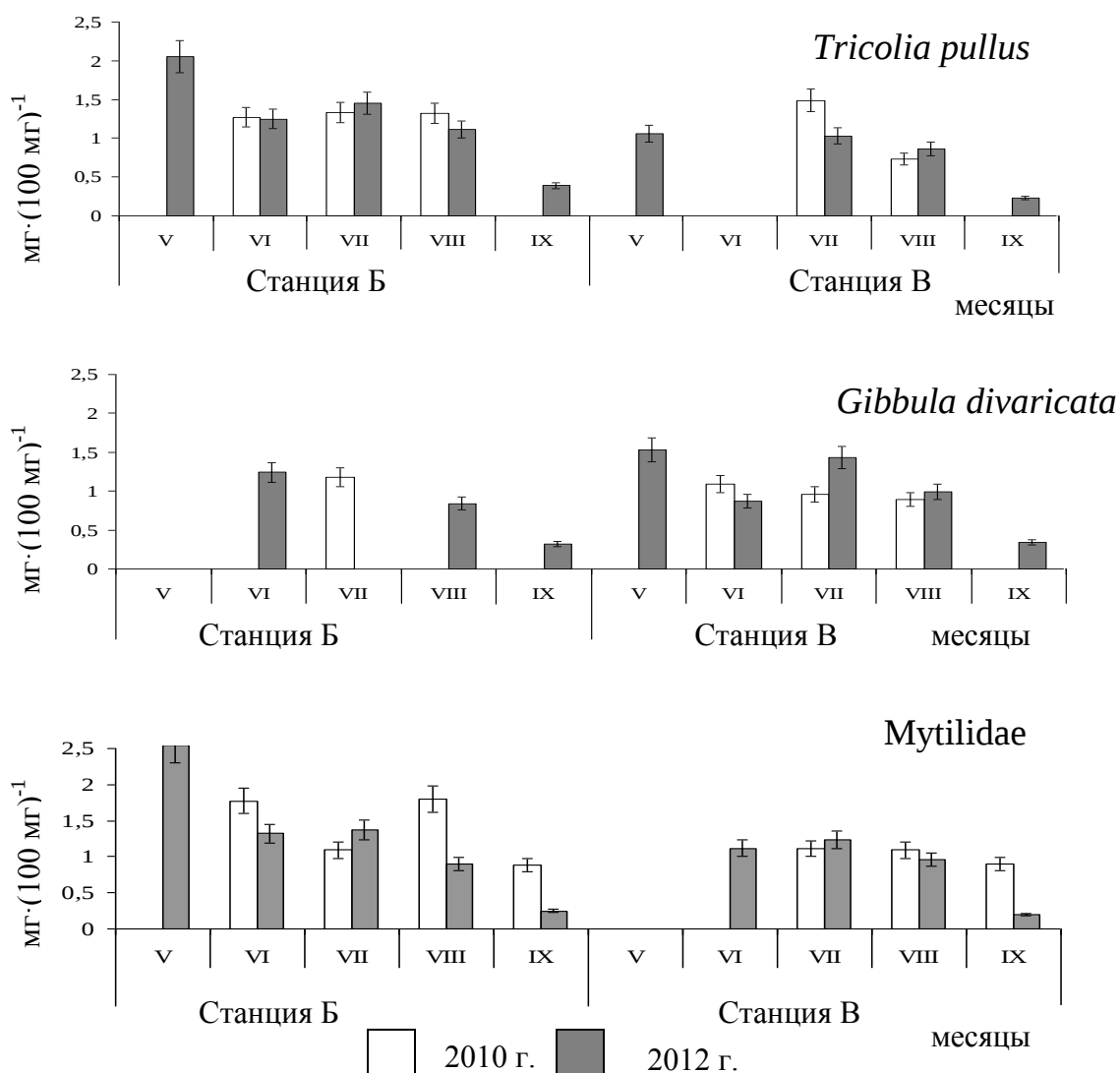


Рис. 5.6. Содержание общих липидов в *T. pullus*, *G. divaricata* и *Mytilidae*, собранных с цистозиры в прибрежной акватории Севастополя.

В 2010 и 2012 гг. величины содержания ОЛ в гиббуле на станции Б были близки, вместе с тем в 2010 г. гиббула встретилась всего один раз (рис. 5.6), а потому предположить, каковы были бы показатели содержания ОЛ у неё в другие месяцы просто невозможно. Средняя концентрация общих липидов в гиббуле на станции В тоже не имела достоверной разницы и была близка к таковой моллюсков со станции Б ($1,13 \pm 0,22$ и $1,03 \pm 0,16$ мг·(100 мг)⁻¹ в 2010 и 2012 гг. соответственно).

Что касается содержания ОЛ в митилидах, то в 2010 г. на станции Б оно в этих моллюсках, также как в гиббуле и триколии, находилось на близком уровне ($1,2 \pm 0,16$ и $1,28 \pm 0,25$ мг·(100 мг)⁻¹) (рис 5.6). Подобная картина отмечена и на станции В.

5. 2. 2. О б и т а т е л и з о с т е р ы. Мы уже отмечали, что, среди гастропод, обитающих на zostере, по численности преобладали два вида – *R. membranacea* и *B. reticulatum*. Содержание общих липидов у *R. membranacea* было выше, чем у *B. reticulatum* (рис. 5.7). Среднее количество ОЛ у *R. membranacea* в 2010 г. составило $2,13 \pm 0,12$, в 2011-м – $1,5 \pm 0,13$, 2012-м – $1,35 \pm 0,15$ мг·(100 мг)⁻¹, а у *B. reticulatum* соответственно $1,32 \pm 0,11$, $0,88 \pm 0,09$, $1,03 \pm 0,09$ мг·(100 мг)⁻¹ [94].

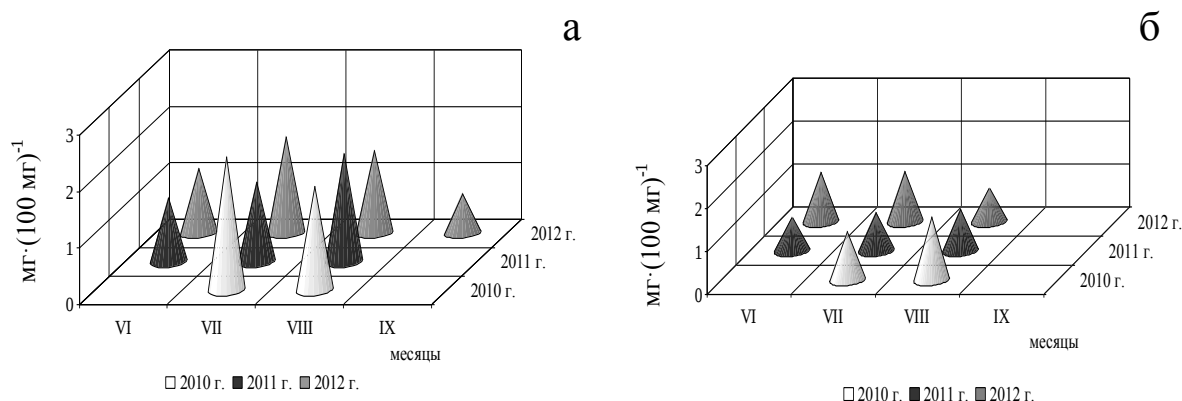


Рис. 5.7. Содержание общих липидов в *R. membranacea* (а) и *B. reticulatum* (б), собранных с *Z. noltii* на станции Г.

Среднее количество ОЛ в биттиумах с zostеры за весь период наблюдений составило $1,08 \pm 0,05 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$.

На станции Г среди зарослей zostеры в отдельные периоды исследований в достаточном для анализа количестве присутствовали гастроподы *T. pullus* и двустворчатые моллюски *P. exiguum* и Mytilidae. Уровень содержания ОЛ в триколии и митилицах был близок к таковому в риссое (*R. membranacea*) и биттиуме (*B. reticulatum*) на этой станции (рис. 5.8).

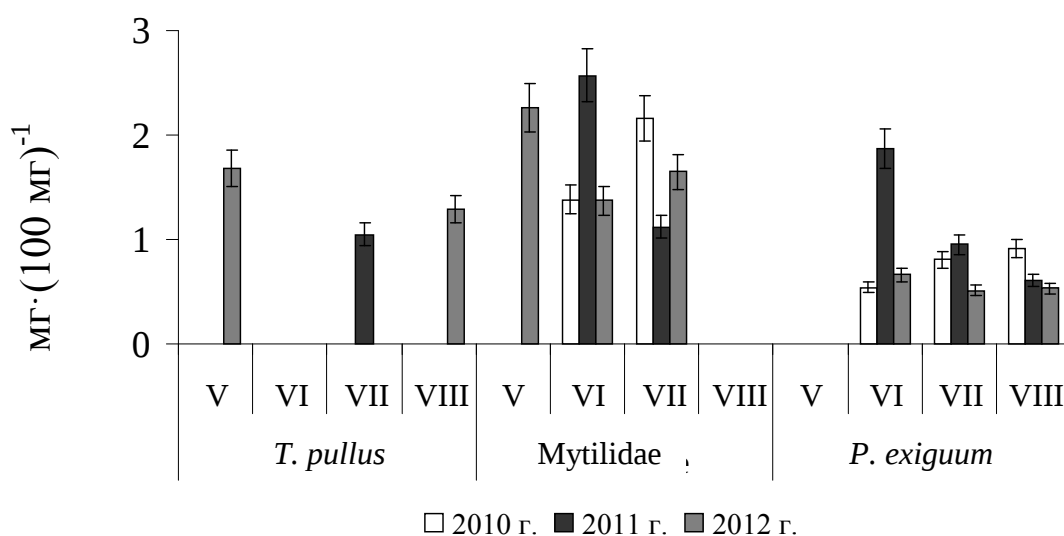


Рис. 5.8. Содержание общих липидов в *T. pullus*, *P. exiguum* и Mytilidae на станции Г

Так, среднее содержание ОЛ в триколии за весь период наблюдений составило $1,34 \pm 0,07$, в митилицах – $1,79 \pm 0,14$, в сердцевидке – $0,82 \pm 0,05 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$. В массовых видах риссое и биттиуме среднее содержание ОЛ было соответственно $1,66 \pm 0,12$ и $1,08 \pm 0,06 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$. Концентрация ОЛ в сердцевидке была практически в 1,5 раза ниже.

5.3. Общие липиды в микроперифитоне с макрофитов

В заключении этого раздела рассмотрим содержание общих липидов в микроперифитоне, поскольку он является важным звеном в трофической

сети и участвует в процессе самоочищения морской среды.

В результате изучения содержания ОЛ в микроперифитоне цистозир в тёплое время года выяснилось, что в 2010 г. оно было практически одинаково на станциях Б и В и примерно в 2 раза выше, чем в тот же период на станции Г (рис. 5.9).

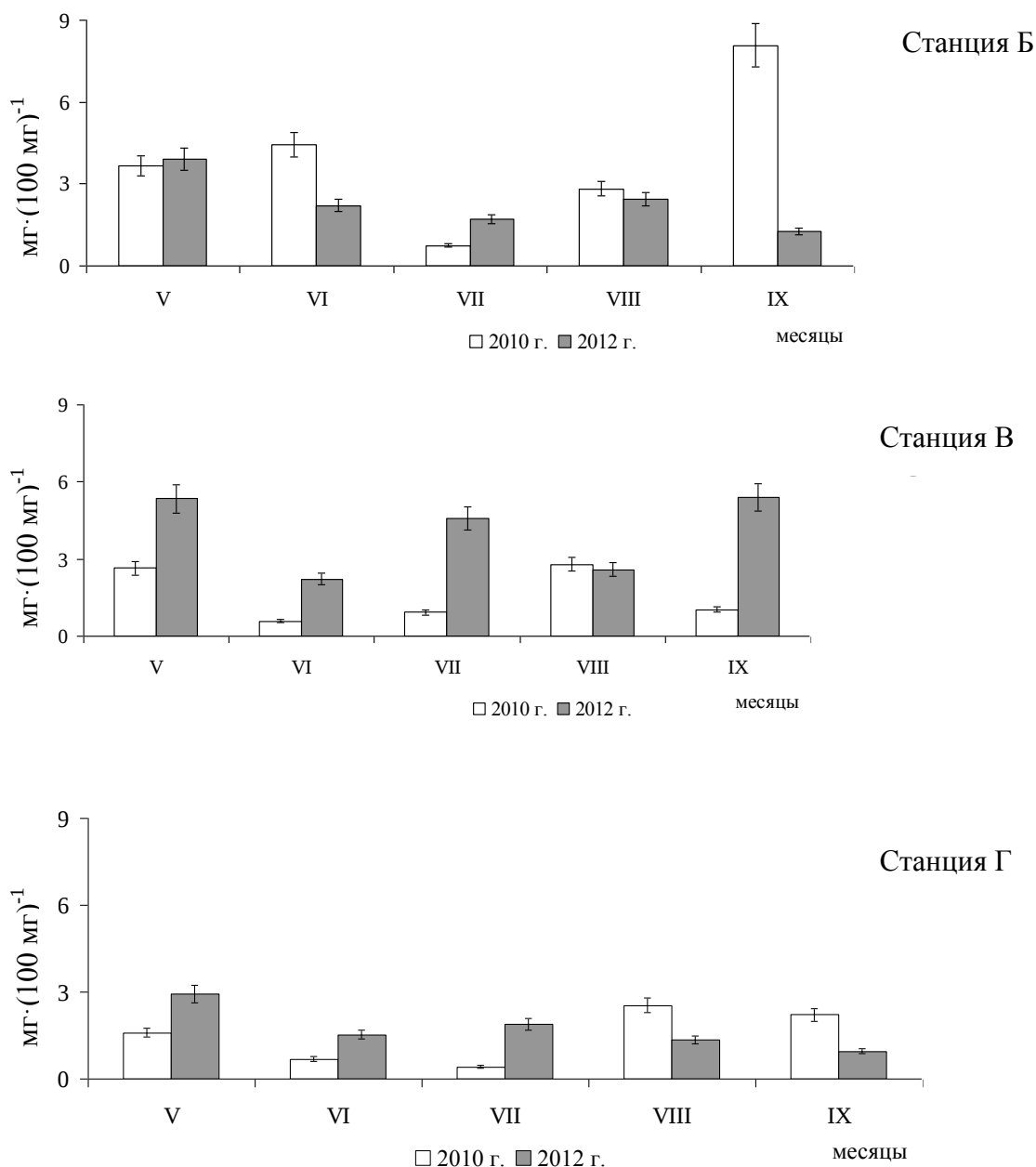


Рис. 5.9. Содержание общих липидов в микроперифитоне, собранном с цистозир на станциях Б, В и Г в акватории Севастополя

В микроперифитоне, покрывающем цистозир на станции Б, средние величины ОЛ в 2010 г. составляли $3,95 \pm 0,82$, в 2012-м – $2,31 \pm 0,31$

мг·(100 мг)⁻¹ (рис. 5.9). Практически такие же средние показатели общих липидов выявлены в микроперифитоне цистозеры на станции В: в 2010 г. – $1,6 \pm 0,4$, в 2012 г. – $4,03 \pm 0,58$ мг·(100 мг)⁻¹. При этом содержания общих липидов в микроперифитоне станции В в 2012 г. превышало таковое в 2010 г. фактически во весь период проведения исследований, а в некоторые месяцы это превышение было весьма существенным. Так, в сентябре 2010 г. содержание ОЛ составляло $1,04 \pm 0,1$, а в том же месяце 2012 г. – $5,41 \pm 0,5$ мг·(100 мг)⁻¹, то есть почти в 5 раз больше. Примерно такая же ситуация наблюдалась в сравниваемые годы и в июле.

Кстати, различия в величинах ОЛ обнаружены не только между 2010 и 2012 гг., но и в пределах 2010 г. К примеру, в июле и сентябре 2010 г. содержание ОЛ в микроперифитоне цистозеры на станции В различалось более чем в 10 раз ($0,78 \pm 0,07$ против $8,08 \pm 0,8$ мг·(100 мг)⁻¹).

Средние величины содержания общих липидов в микроперифитоне цистозеры на станции Г были близкими в оба года исследований: в 2010 г. – $1,49 \pm 0,33$, в 2012-м – $1,73 \pm 0,24$ мг·(100 мг)⁻¹.

В холодное время года средние показатели ОЛ в микроперифитоне цистозеры на станциях Б и В были близки между собой – соответственно $2,8 \pm 0,83$ и $3,2 \pm 0,5$ мг·(100 мг)⁻¹ (табл. 5.3). Напомним, что эти станции располагаются на расстоянии 5,2 км друг от друга и отличаются особенностями гидрологического режима.

Таблица 5.3

Содержание общих липидов в микроперифитоне цистозеры на станциях Б и В в холодное время 2010 г., мг·(100 мг)⁻¹

Район	Месяцы					
	II	III	IV	X	XI	XII
Станция Б	$0,62 \pm 0,06$	нет данных	$6,10 \pm 0,6$	$2,79 \pm 0,3$	$1,63 \pm 0,2$	нет данных
Станция В	$1,48 \pm 0,2$	$4,38 \pm 0,4$	$2,4 \pm 0,2$	$3,56 \pm 0,4$	$5,27 \pm 0,5$	$2,05 \pm 0,2$

В микроперифитоне zostеры показатели содержания ОЛ подвержены определённым колебаниям, как по месяцам, так и по годам (рис. 5.10). Наиболее высокие показатели отмечались в августе всех трёх лет (2010, 2011 и 2012 гг.).

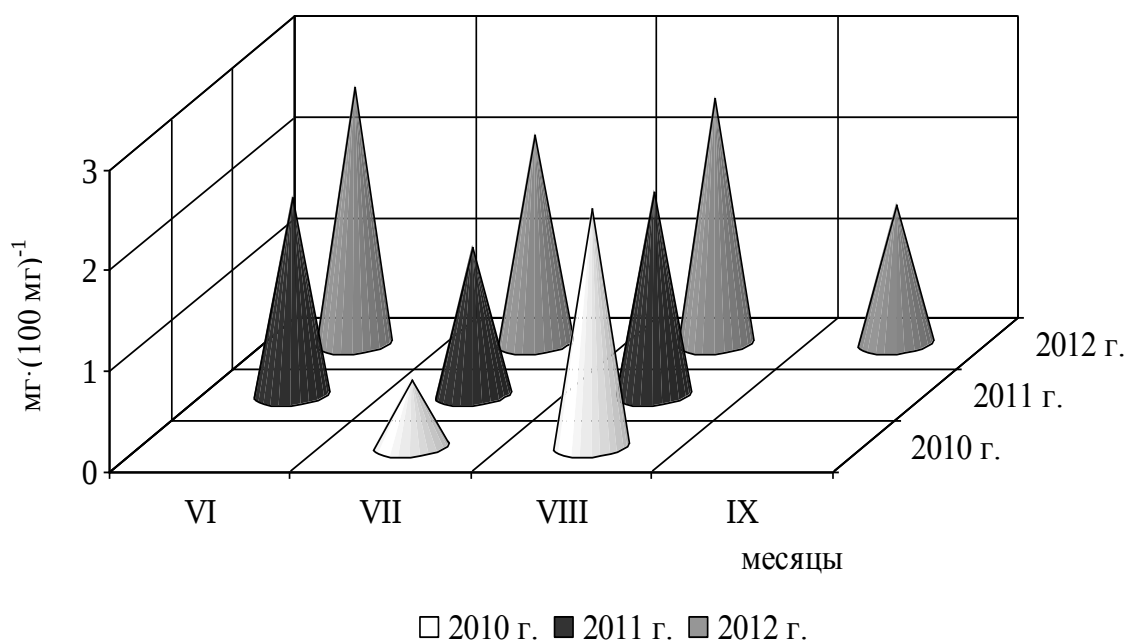


Рис. 5.10. Содержание общих липидов в микроперифитоне zostеры на станции Г

Концентрация общих липидов в микроперифитоне zostеры (рис. 5.10) в среднем составляла $1,83 \pm 0,3 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$.

Судя по литературным данным, морские водоросли характеризуются низким уровнем содержания ОЛ; в частности у бурых воорослей он находится в пределах 1 % [6]. В то же время наши работы показали, что величины содержания ОЛ в цистозире и zostере в несколько раз больше приведённых в литературе величин. Более того, количество общих липидов в макрофитах после смыва с них микроперифитона оставалось практически на том же уровне, что и в нативном растении (рис. 5.11).

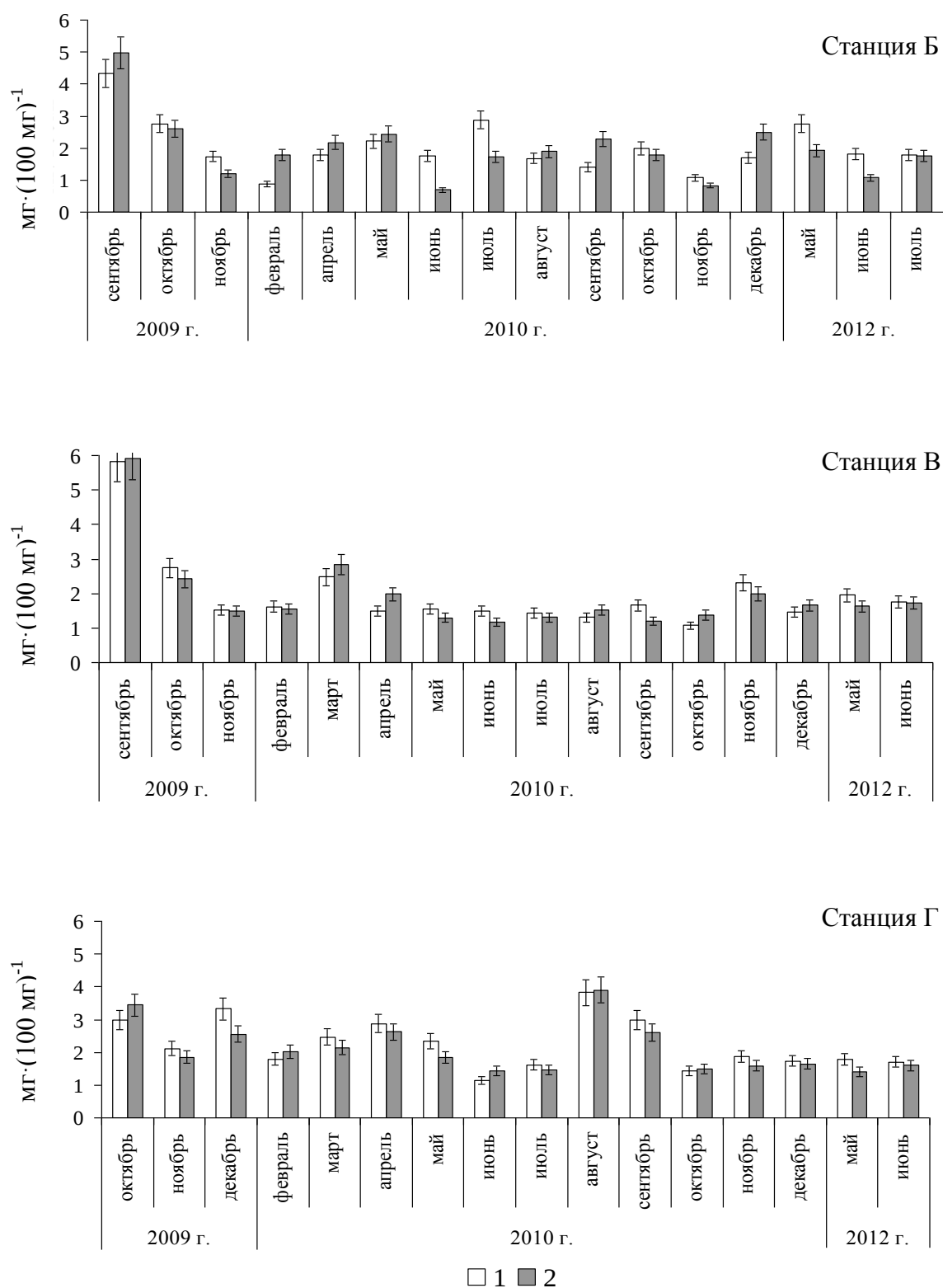


Рис. 5.11. Содержание общих липидов в цистозире, собранной в прибрежной акватории Севастополя на станциях Б, В и Г: 1 – до смыва перифитона; 2 – после смыва перифитона

Причём подобная картина наблюдается в различных акваториях не только у водорослей, но и цветковом растении – зостере, собранной в бухте Казачья (рис. 5.12).

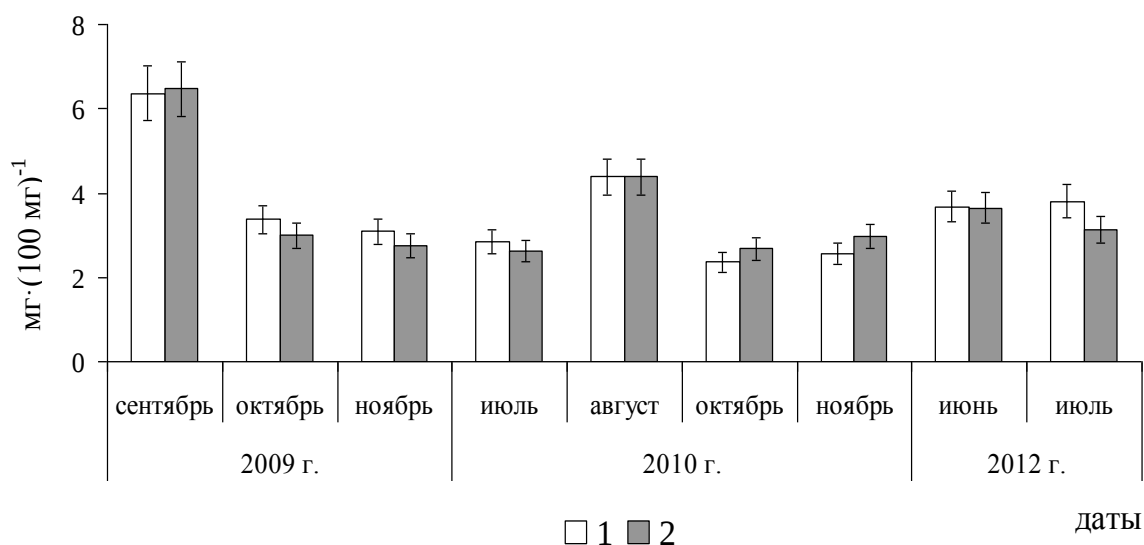


Рис. 5.12. Содержание общих липидов в *Z. noltii* до (1) и после (2) смыва перифитона

На рис. 5.11 и 5.12 можно заметить, что иногда содержание общих липидов в макрофитах после смыва микроперифитона превышает таковое до его смыва. Это, на наш взгляд, может быть объяснено определённой погрешностью методики.

Поверхность водной растительности покрыта микроперифитомом, нижние слои которого плотно прилегают к поверхности макрофитов. Подобное явление отмечено для всех субстратов, погруженных в море [27]. Корреляционная зависимость между содержанием НУ в цистозире до и после смыва с неё микроперифитона высока, и коэффициент корреляции достигает $r = 0,96$.

Подробный анализ фракционного состава общих липидов в организмах зарослей макрофитов не входит в нашу задачу, поэтому приведем осреднённые данные по содержанию этих соединений в гидробионтах в акватории юго-западного Крыма (табл. 5.4).

**Среднее содержание общих липидов в организмах по трём районам
взятия проб ($\text{мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$)**

	2010 г.	2012 г.
Цистозира	1,95±0,18	1,87±0,04
Микрופерифитон цистозир	2,35±0,62	2,69±0,52
Зостера	3,61±0,55	3,13±0,3
Микрופерифитон зостеры	1,53±0,6	2,13±0,19
Риссоа	1,58±0,15	1,38±0,07
Биттиум	1,3±0,07	1,13±0,08
Триколия	1,21±0,07	1,02±0,15
Гиббула	1,08±0,07	0,92±0,08
Митилиды	1,4±0,14	1,31±0,17

Статистически достоверные различия между содержанием ОЛ в макрофитах и микрופерифитоне, основу которого составляют микроводоросли, отсутствует. В равной степени нет существенной разницы между величинами ОЛ в животных организмах.

Подводя итоги исследованиям, результаты которого изложены в данном разделе, отметим, что нами впервые на Чёрном море изучено содержание общих липидов в организмах прибрежного зарослевого комплекса: цистозир, зостеры, населяющих их массовых видов моллюсков – *Rissoa splendida*, *R. membranacea*, *Bittium reticulatum*, *Tricolia pullus*, *Gibbula divaricata*, *Parvicardium exiguum*, Mytilidae, а также микрופерифитона этих макрофитов.

В результате удалось установить следующее:

- Средние величины содержания общих липидов за весь период наблюдения были выше в зостере, чем в цистозире.

- Уровень содержания ОЛ в моллюсках, обитающих на макрофитах, был близок, за исключением сердцевидки, количество ОЛ в которой было примерно в 1,5 раза ниже.
- Количество общих липидов в микроперифитоне цистозир и зостеры, взятых из разных районов, а также в различные годы, подвержено существенным колебаниям.
- Количество общих липидов в макрофитах после смыва с них микроперифитона оставалось практически на том же уровне, что и в нативном растении, что свидетельствует о наличии на поверхности макрофитов остаточной несмываемой прочно прикреплённой бактериальной плёнки микроперифитона.

Материалы данного раздела диссертации вошли в публикации: [82, 85].

РАЗДЕЛ 6

НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ И ОБЩИЕ ЛИПИДЫ В ФЕКАЛИЯХ МАССОВЫХ ОРГАНИЗМОВ ЗАРОСЛЕВЫХ СООБЩЕСТВ

6.1. Нефтяные углеводороды в фекалиях моллюсков

Нефтяные углеводороды, попавшие в организм моллюсков в дальнейшем выводятся из него, прежде всего, с фекалиями. Данные по содержанию НУ в фекалиях черноморских моллюсков ранее получены для таких фильтраторов, как мидии [11] и *Abra ovata* [148].

Содержание НУ в фекалиях изучалось нами в 2010 г. в основном у *Rissoa splendida*, а на станции Г – у *R. membranacea* (рис. 6.1).

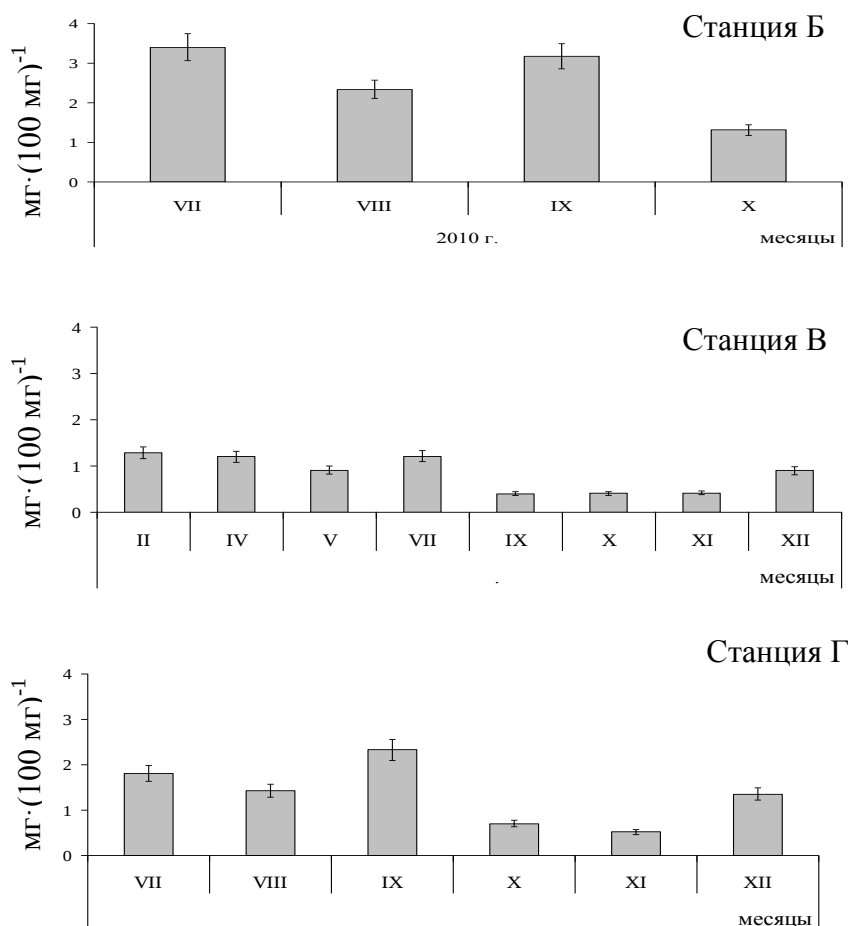


Рис. 6.1. Количество НУ в фекалиях риссои, собранной на станциях Б, В и Г в 2010 г.

На станции Б было собрано всего 4 пробы. Если сравнить уровень содержания НУ в фекалиях *R. splendida* за этот период с таковым у этих моллюсков в других районах, то здесь показатели были выше, чем на станциях В и Г.

Среднее количество нефтяных углеводородов в фекалиях риссои на станции Б составило $2,56 \pm 0,36$, на станции В – $0,84 \pm 0,1$, на станции Г – $1,36 \pm 0,2$ мг·(100 мг)⁻¹.

Следовательно, наиболее высокие значения содержания НУ в фекалиях риссои выявлено у моллюсков на станции Б, а наименьшие – на станции В.

Летом 2011 г. аналогичные работы были проведены с *B. reticulatum*, собранным на станции Г (рис. 6.2).

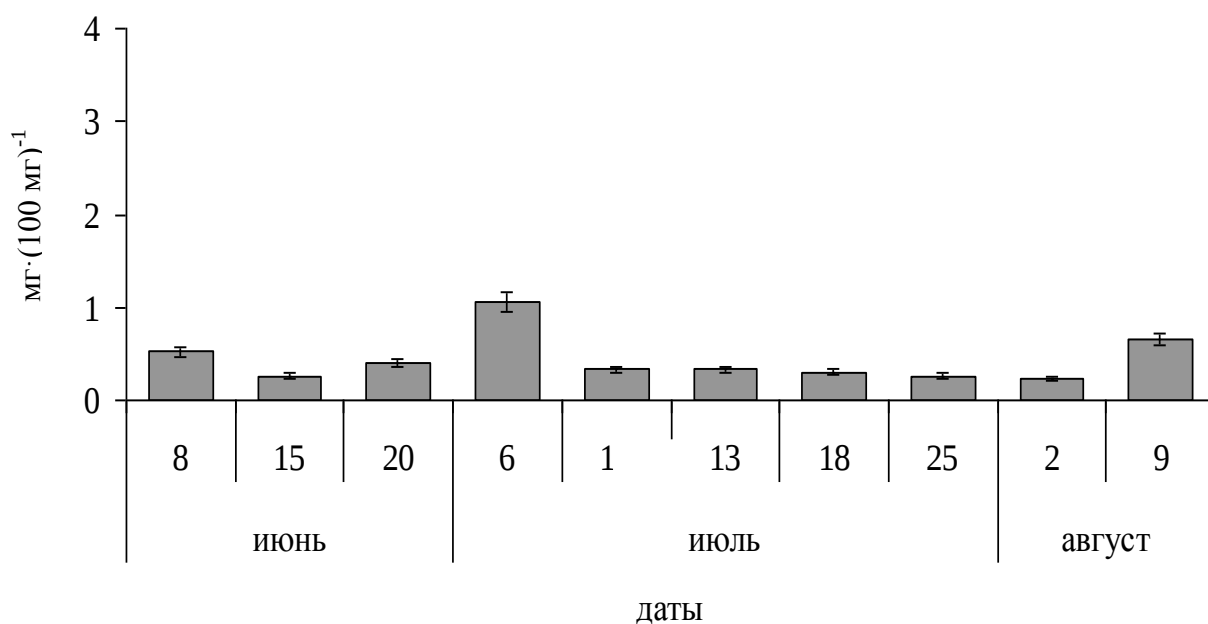


Рис. 6.2 Среднее количество НУ в фекалиях *B. reticulatum* в 2011 г.

Среднее содержание НУ в фекалиях биттиума на станции Г составило $0,44 \pm 0,06$ мг·(100 мг)⁻¹ и было в 3,1 раза меньше, чем в фекалиях риссои, собранной в том же районе, правда, годом ранее, в 2010-м.

В июле и августе 2011 г. на содержание НУ нами были обследованы фекалии *R.*, собранной одновременно с *B. reticulatum* на станции Г. В июле величина НУ в фекалиях *R. membranacea* составила в среднем 0,59, в августе

– $0,61 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$. Таким образом, показатели содержания НУ в фекалиях *R. membranacea*, равно как и у *R. splendida*, превышают таковые *B. reticulatum*.

Возможно, это связано с особенностями питания исследуемых моллюсков. Известно, что *R. splendida* питается в основном диатомовыми водорослями, развивающимися на макрофитах, *R. membranacea* – перифитоном, главным образом диатомовыми, развивающимися на водорослях и зостере, а также детритом. У *B. reticulatum* основной пищей служат эпифитные диатомовые водоросли, развивающиеся на макрофитах и грунте, а также детрит. При этом интенсивность питания риссои превышает таковую у биттиума и составляет соответственно $41,0$ и $33,0 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$ [22, 156]. Поэтому можно предположить, что с пищей риссои потребляет большее количество НУ, равно как и выделяет с фекалиями.

6.2. Общие липиды в фекалиях моллюсков

Параллельно с изучением содержания НУ в фекалиях моллюсков мы определяли содержание в них общих липидов. Наименьшее количество ОЛ в фекалиях риссои отмечено на станции В (акватория пакра Победы), а наибольшее – на станции Б (акватория Приморского бульвара) (рис. 6.3), т.е. содержание ОЛ в фекалиях риссои аналогично таковому НУ.

Среднее содержание общих липидов в фекалиях риссои, собранных в период наблюдений на станции Б, составило $8,19 \pm 1,35$, на станции В – $3,35 \pm 0,34$, станции Г – $4,83 \pm 0,38 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$.

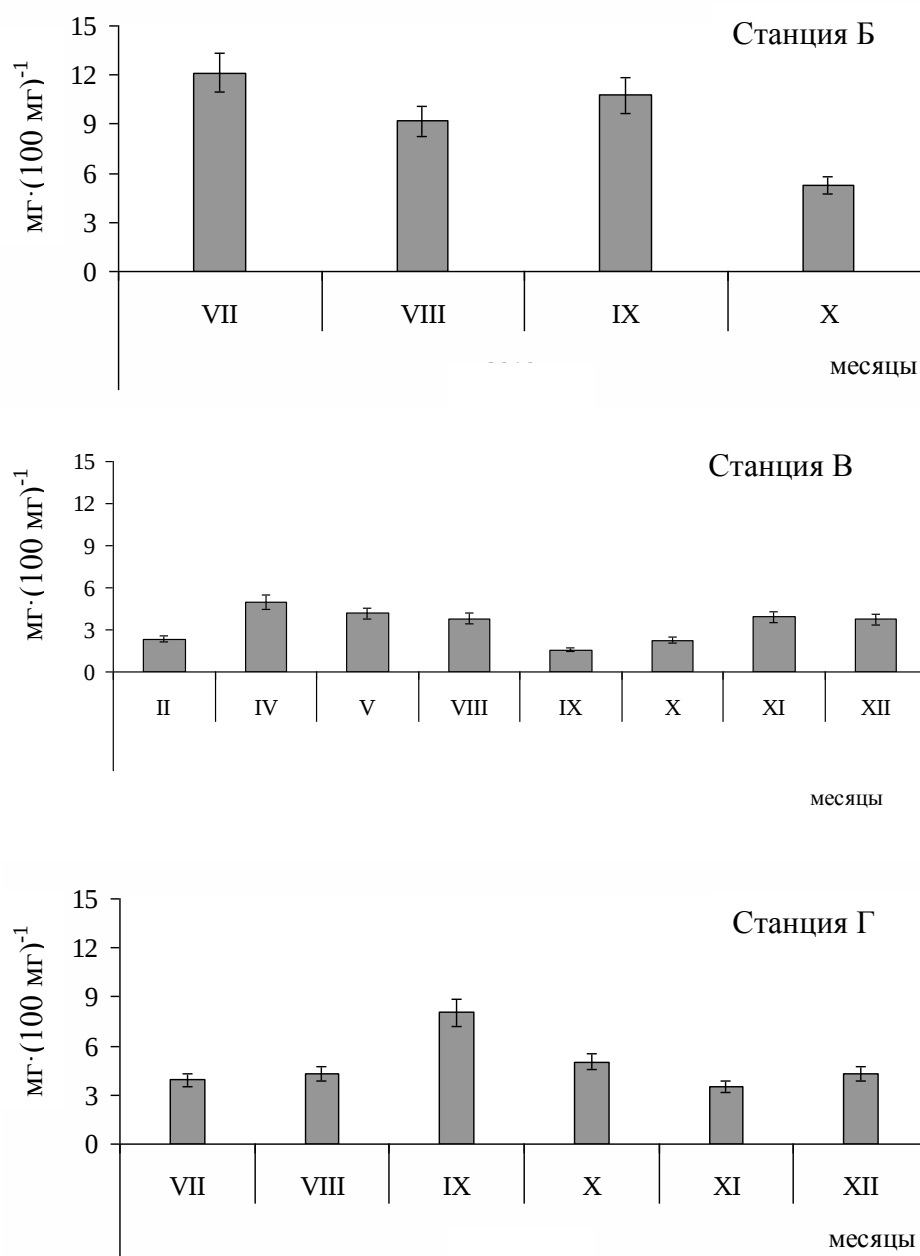


Рис. 6.3. Содержание общих липидов в фекалиях *R.splendida* и *R. membranacea*, собранных в прибрежной акватории Севастополя на станциях Б, В и Г в 2010 г.

Данные по содержанию общих липидов в фекалиях биттиума, полученные летом 2011 г. на станции Г, демонстрируют их относительно более низкий уровень в сравнении с риссоа (рис. 6.4).

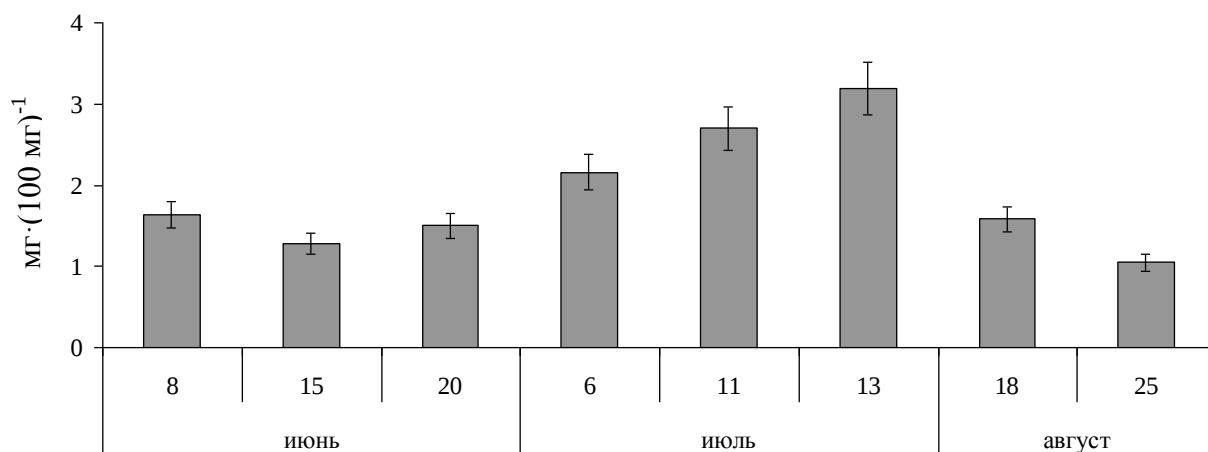


Рис. 6.4. Содержание общих липидов в фекалиях *B. reticulatum* в 2011 г.

В данном случае нам удалось получить пробы биттиума для проведения анализа на содержание ОЛ по 3 раза в месяц. В результате, как иллюстрирует рис. 6.4, мы получили более «гибкую» картину колебаний величин ОЛ даже в течение одного месяца. Среднее содержание общих липидов в фекалиях биттиума на станции Г составило $1,89 \pm 0,21$ мг·(100 мг)⁻¹.

Таким образом, впервые на примере нескольких массовых видов моллюсков – *R. splendida*, *R. membranacea*, *B. reticulatum* получены данные по содержанию НУ и общих липидов в фекалиях массовых организмов, обитающих в зарослях макрофитов. Вместе с результатами исследования содержания НУ и ОЛ в самих макрофитах и покрывающем их микроперифитоне, изложенными в разделах 4 – 5, они являются основой для последующего изучения микробиопотоков НУ в прибрежной мелководной зоне моря.

Материалы данного раздела диссертации вошли в публикации: [81, 188].

РАЗДЕЛ 7

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАКОПЛЕНИЕ НУ В МОРСКИХ ОРГАНИЗМАХ, И УЧАСТИЕ БИОТЫ В МИКРОБИОПОТОКАХ НЕФТИ В МОРЕ

7.1. Влияние липидов и других факторов на накопление НУ в морских гидробионтах

При прогнозе экологических последствий нефтяного загрязнения морской среды важным фактором является изучение миграции нефти в море. При аварийных ситуациях на первый план выходят гидрометеорологические факторы. В условиях малых уровней нефтяного загрязнения существенный вклад в этот процесс вносит биоперенос нефтяных углеводородов. Нефть, как природное вещество своей углеводородной составляющей может, по-видимому, включаться в обменные процессы морских организмов. На этот процесс могут оказывать влияние как внутренние, так и внешние факторы.

Как указывалось выше, одним из внутренних факторов, влияющих на накопление НУ в морских организмах, являются уровни содержания в гидробионтах общих липидов.

Рассмотрим корреляционную связь НУ и общих липидов в моллюсках, находящихся в зарослях макрофитов, омываемых морской водой с низкими концентрациями нефтяного загрязнения.

Между содержанием липидов и уровнем накопления НУ моллюсками, обитающими в зарослях цистозеры и зостеры, установлена положительная корреляция. При этом в подавляющем большинстве случаев отмечается средняя степень зависимости. Исключение составляют данные по биттиуму на станции Б ($R=0,82$ – сильная) и риссое на станции Г ($R=0,19$ – слабая). Одной из причин, на наш взгляд, может быть разное соотношение в микроперифитоне эпифитной и бактериально-детритной составляющей. То-

есть, на первый план выходит алиментарная составляющая, поскольку в морской воде уровень НУ на всех станциях был практически одинаков. С другой стороны, это может быть обусловлено физиолого-биохимическими особенностями гидробионтов. Так, средние коэффициенты корреляции по всем 3 станциям составляли для риссои $R=0,29$, для биттиума $R=0,56$ и для триколии $R=0,22$. При этом корреляционная связь между липидами и НУ для микроперифитона была статистически незначимой.

Из трёх видов моллюсков наиболее высокие коэффициенты корреляции на всех трёх станциях отмечены у биттиума. Аналогичная картина наблюдается у гиббулы ($r = 0,57$), однако данные по ней получены только на станции Б.

Таблица 7.1

Коэффициенты корреляции между содержанием общих липидов и НУ в некоторых моллюсках, обитающих на макрофитах

Виды	Станция Б	Станция В	Станция Г
<i>Rissoa splendida</i>	0,35	0,56	0,19
<i>Bittium reticulatum</i>	0,82	0,64	0,56
<i>Tricolia pullus</i>	0,51	0,41	0,38

Однако на накопление НУ в организмах, помимо содержания в них общих липидов, могут влиять и другие факторы, например, уровни НУ в морской воде и в объектах питания гидробионтов, в нашем случае, моллюсков.

Для выяснения этого предположения проведено построение линейных моделей множественной регрессии методом наименьших квадратов. В общем виде уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = a \cdot X_0 + b \cdot X_1 + c \cdot X_2 + d$$

где: Y – содержание НУ в риссое;

X_0 – содержание НУ в микроперифитоне;

X_1 – содержание НУ в морской воде;

X_2 – содержание НУ в цистозире;

a, b, c – коэффициенты регрессии;

d – свободный член уравнения регрессии.

Путём преобразований и исключения менее значимых факторов из модели удалось добиться её высокой адекватности и 90%-ное объяснение общей дисперсии исследуемого параметра через дисперсию выбранных независимых факторов. В окончательном виде уравнения регрессии для районов исследования выглядят следующим образом:

для станции Г: $Y=0,357 \cdot X_0+0,807 \cdot X_1$;

для станции В: $Y=0,413 \cdot X_0+0,616 \cdot X_1$;

для станции Б: $0,405 \cdot X_0+0,713 \cdot X_1$,

где: Y – содержание НУ в риссое;

X_0 – содержание НУ в морской воде;

X_1 – содержание НУ в микроперфитоне.

Наиболее значимым фактором, определяющим содержание НУ в риссое на всех трёх станциях, является его содержание в микроперифитоне, содержащем наиболее высокие концентрации липидов из всех исследованных биологических объектов. Он же является основным источником пищи для гастропод, в частности риссои [22]. Это может служить подтверждением главенствующей роли пищевого фактора в накоплении НУ морскими организмами при низком уровне нефтяного загрязнения морской воды и согласуется с выводами полезной модели [123].

Накопившиеся НУ с пищей затем выводятся из моллюсков с фекалиями.

7.2. Расчёт биологической составляющей микропотока нефтяных углеводов в зарослевых сообществах через фекалии моллюсков

На основании полученных нами данных по содержанию НУ в фекалиях риссои и литературных данных по встречаемости этого моллюска в

прибрежной акватории проведём примерный расчет её в микробиопотоке НУ.

Среднее (по всем районам исследований) значение содержания НУ в риссое составило $0,3 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$. Масса одной живой особи равна 40 мг, из которых 70% приходится на раковину [22]. После высушивания масса моллюска уменьшается приблизительно до 30 мг. Следовательно, $0,3 \text{ мг} \cdot 100 \text{ мг}^{-1}$ НУ содержится в 3,3 риссои, и таким образом на одну особь приходится 0,1 мг НУ. По нашим данным, в 100 мг фекалий риссой содержится в среднем 1,4 мг НУ. По [22], вес 1 фекалии риссои составляет в среднем $1,2 \cdot 10^{-3}$ мг. За сутки 1 особь выделяет в среднем 7,5 штук фекалий массой $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ мг} \cdot 7,5 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ мг}$. Данное количество фекалий содержит $(9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,4) / 100 = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ мг НУ}$.

Опубликованные данные по численности *R. splendida* на макрофитах в прибрежной зоне Крыма разнятся в десятки раз. Так, по одним данным [68], на 1 кг цистозеры на глубине до 5 м приходится 60 экз. риссой (данные 2000 – 2005 гг.), по другим [69], – до тысячи экз. (данные 1979 г.). По нашим наблюдениям, в период исследований на глубине не более 1 м количество моллюсков доходило до тысячи на 1 кг макрофитов. Если взять эту максимальную величину, то суточные фекалии одной тысячи особей риссои с килограмма цистозеры могут содержать 0,13 мг НУ. Если принять, что средняя масса цистозеры, занимающей 1 м^2 , составляет 3 кг, то с фекалиями населяющей её риссои в воду за сутки попадает 0,39 мг НУ. Если учесть, что ПДК для морской воды составляет $0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, то в 1 м^3 воды содержится 50 мг НУ, и тогда вклад фекалий риссои в общее содержание НУ в 1 м^3 морской воды может составлять всего 0,8%.

В доступной нам литературе мы не встретили подробных количественных данных по фекалиям биттиума, поэтому расчёты микробиопотока НУ через этого моллюска будут весьма приблизительными. Исходя из средней численности биттиума в наших пробах – $300 \text{ экз} \cdot \text{кг}^{-1}$, количества НУ в его фекалиях, равное $0,19 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$, количества НУ в

самом биттиуме, равное $0,23 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$, мы получили, что с фекалиями биттиума с 1 кг цистозеры в морскую воду попадает примерно 0,12 мг НУ в сутки или 0,24% от количества НУ в морской воде.

Что касается других моллюсков (триколия, гиббула, митиллиды, сердцевидка), встречавшихся в прибрежных зарослевых сообществах в значительно меньших количествах, их фекалий получить не удалось. Можно только предположить, что вклад этой группы моллюсков в общий микробиопоток НУ в прибрежной зоне ещё более незначителен.

В результате изучения связи содержания ОЛ и НУ удалось установить следующее:

- Отмечена положительная корреляция между содержанием липидов и уровнем накопления НУ массовыми видами моллюсков, обитающих в зарослях цистозеры и зостеры.
- Наиболее значимым фактором, определяющим количество НУ в риссе на всех трёх станциях, является его содержание в микроперифитоне, содержащем наиболее высокие концентрации липидов из всех исследованных биологических объектов.
- Расчёты показали, что вклад НУ фекалий массовых моллюсков в содержание НУ в морской воде в прибрежной акватории Севастополя незначителен.

ВЫВОДЫ

Впервые получены данные о содержании нефтяных углеводородов и общих липидов в организмах зарослей макрофитов *Cystoseira barbata*, *Zostera noltii* в прибрежной акватории юго-западного Крыма, в покрывающем их микроперифитоне и моллюсках *Rissoa splendida*, *Bittium reticulatum*, *Tricolia pullus*, *Gibbula divaricata*, *Parvicardium exiguum*, Mytilidae. Измерены уровни нефтяного загрязнения морской воды в районах проведения работ для их сравнения с ПДК, установлена зависимость между содержанием НУ и ОЛ в организмах, рассчитана биологическая составляющая микропотока НУ в зарослевых сообществах через фекалии массовых моллюсков.

1. Содержание НУ в морской воде района проведения работ свидетельствует о низком (близком к ПДК – $0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$) уровне их нефтяного загрязнения. С 2009 по 2012 гг. наблюдается тенденция снижения количества НУ в море, что может свидетельствовать о некотором улучшении экологической обстановки в акватории Севастополя. Низкий уровень содержания НУ в морской воде подтверждается и микробиологическими данными.

2. Низкие концентрации НУ в илистых и песчаных осадках, а также в береговых наносах на участках, где отсутствуют стационарные источники нефтяного загрязнения, демонстрируют их незначительный вклад во вторичное загрязнение морской среды. Содержание НУ в илистых грунтах превышает таковые в песчаных в среднем в 3 раза, макрофиты подводных гидротехнических сооружений загрязнены НУ в значительно меньшей степени, чем донные осадки на тех же участках.

3. Средний уровень содержания нефтяных углеводородов в цистозире и zostере невысок (соответственно – $0,3 \pm 0,02$ и $0,34 \pm 0,06 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$) и обусловлен в основном остаточной несмываемой прочно прикреплённой плёнкой микроперифитона.

4. Средний уровень НУ в массовых видах моллюсков, обитающих в зарослях макрофитов прибрежной акватории Севастополя, практически одинаков – $0,31 \pm 0,02 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$. В микроперифитоне, смытом с цистозеры, содержание НУ $0,45 \pm 0,07$, с зостеры, – $0,49 \pm 0,13 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$.

5. Среднее содержание общих липидов в зостере достоверно выше, чем в цистозире (соответственно $3,22 \pm 0,34$ и $1,91 \pm 0,2 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$). Уровень содержания ОЛ в обитающих на них моллюсках близок: *Rissoa splendida* – $1,48 \pm 0,15$, *Bittium reticulatum* – $1,22 \pm 0,11$, *Tricolia pullus* – $1,12 \pm 0,08$, *Gibbula divaricata* – $1,02 \pm 0,05$, Mytilidae – $1,36 \pm 0,12 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$, за исключением *Parvicardium exiguum*, количество ОЛ в которой было примерно в 1,5 раза ниже ($0,82 \pm 0,05 \text{ мг} \cdot (100 \text{ мг})^{-1}$). Количество общих липидов в микроперифитоне цистозеры и зостеры, взятых из разных районов, подвержено существенным колебаниям, что может быть связано с особенностями развития микроводорослей на поверхности макрофитов.

6. Между содержанием общих липидов и количеством НУ в организмах прибрежных зарослевых сообществ существуют корреляционные связи. Построение линейных моделей множественной регрессии методом наименьших квадратов показало, что наиболее значимым фактором, определяющим содержание НУ в массовом моллюске сообщества *C. barbata* и *Z. noltii* – риссое является его содержание в микроперифитоне – основном источнике питания гастропод.

7. Вклад НУ фекалий массовых моллюсков в содержание НУ в морской воде в прибрежной акватории Севастополя незначителен.

8. Усовершенствованный способ оценки количества нефтяных углеводородов в прибрежных морских акваториях (Пат. 64294 U UA, МПК G01N 33/18, A01K61/00; опубл. 10.11.2011) и полученные данные по содержанию НУ в организмах зарослевых сообществ макрофитов являются основой для последующего изучения микробиопотоков НУ в мелководной зоне моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агатова, А. И. Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры / А. И. Агатова. – М.: ВНИРО, 2004. – 123 с.
2. Алёмов, С. В. *Nereis (Hediste) diversicolor*: физиология, биология и экология в условиях антропогенного загрязнения / С. В. Алёмов. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – 96 с.
3. Аракелова, Е. С. Состав общих липидов и скорость энергетического обмена у брюхоногих моллюсков / Е. С. Аракелова // Журн. общ. биол. – 2008. – Т. 69, № 6. – С. 471–478.
4. Афанасьев, Д. Ф. Влияние нефтяного загрязнения донных отложений азово-черноморского бассейна на развитие *Zostera marina* / Д. Ф. Афанасьев // Тр. Кубан. гос. аграр. ун-та. – 2008. – № 12. – С. 120–124.
5. Ахмедова, Г. А. Воздействие нефтяного загрязнения на морскую биоту и биологическое разнообразие Каспийского бассейна / Г. А. Ахмедова, Г. М. Абдурахманов, В. Ф. Зайцев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2006. – № 11. – С. 67–70.
6. Барашков, Г. К. Химия водорослей / Г. К. Барашков. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 143 с.
7. Баренбойм, Г. М. Углеводороды нефти: индивидуальная токсичность / Г. М. Баренбойм, А. Ю. Савека, М. А. Чиганова // Методы оценки соответствия. – 2011. – № 8. – С. 33–39.
8. Беляева, А. Н. Элементы преобразования липидов в океане : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.01 / А. Н. Беляева. – Новочеркасск, 1974. – 28 с.
9. Беляева, О. И. Влияние ливневых стоков на нефтяное загрязнение и бактериологическое состояние бухты Казачьей (Чёрное море) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.17. / Беляева Ольга Ивановна. – Севастополь, 2009. – 24 с.

10. Бескдид, П. П. Загрязнение морской среды нефтью и нефтепродуктами / П. П. Бескдид, Е. Г. Дурягина // Эксплуатация морского транспорта. – 2010. – № 4. – С. 51–55.
11. Биологические аспекты загрязнения морской среды / под общ. ред. О. Г. Миронова ; АН УССР, Ин-т биол. юж. морей им. А. О. Ковалевского. – К. : Наук. думка, 1988. – 248 с.
12. Бобкова, А. Н. Сезонные изменения структуры и биохимического состава микроперифитона / Бобкова А. Н. // Гидробиол. журн. – 1990. – Т. 26, № 2. – С. 33 – 37.
13. Болтачёв, А. Р. Особенности структуры ихтиоценоза морских трав западного Крыма и Каркинитского залива / Болтачёв А. Р., Карпова Е. П. // Современные рыбохозяйственные проблемы Азово-Черноморского региона : материалы VII междунар. конф., 20–23 июня 2012 г .– Керчь, 2012. – Т. 1. – С. 140–147.
14. Бурдиян, Н. В. Сульфатредуцирующие, тионовые, динитрифицирующие бактерии в прибрежной зоне Чёрного моря и их роль в трансформации нефтяных углеводородов : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.17. / Бурдиян Наталья Витальевна. – Севастополь, 2011. – 24 с.
15. Бутаев, А. М. О роли углеводородокисляющих микроорганизмов в процессах самоочищения прибрежных вод Дагестанского побережья Каспийского моря от нефтяного загрязнения / А. М. Бутаев, Н. Ф. Кабыш // Вестн. Дагестан. науч. центра РАН. – 2002. – № 11. – С. 33–36.
16. Вассоевич, Н. Б. О происхождении нефти / Н. Б. Вассоевич // Тр. ВНИГРИ. – 1955. – Вып. 83. – С. 9–98.
17. Виноградов, А. К. Экосистемы акваторий морских портов Черноморско – Азовского бассейна (Введение в экологию морских портов) / А. К. Виноградов, Ю. И. Богатова, И. А. Синегуб. – Одесса : Астропринт, 2012. – 524 с.

18. Влияние нефти и нефтепродуктов на морские организмы и их сообщества / под ред. О. Г. Миронова. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 127 с.
19. Влияние нефтяного загрязнения на состав и формирование сообщества обрастания / Ф. Ш. Амаева, М. М. Алигаджиев, М. М. Османов, А. А. Абдурахманова // Изв. Дагестан. гос. пед. ун-та. Естественные и точные науки. – 2010. – № 2. – С. 42–46.
20. Воробьев, Ю. Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : Ин-октаво, 2005. – 368 с.
21. Вялышев, А. И. Возможные последствия чрезвычайных ситуаций, обусловленных разливами нефти и нефтепродуктов на морских акваториях / А. И. Вялышев, И. В. Лисовский, А. Ю. Большагин // Технологии гражданской безопасности. – 2012. – Т. 9, № 1. – С. 62–69.
22. Гаевская, Н. С. Питание и пищевые связи животных, обитающих среди донной растительности и в береговых выбросах Чёрного моря / Н. С. Гаевская // Тр. ин-та океанологии. – 1954. – Т. 8. – С. 269-290.
23. Гапонюк, Т. О. Химический состав органического вещества в перифитоне системы гидробиологической очистки воды в акватории нефтегавани (Севастопольская бухта. Чёрное море) / Т. О. Гапонюк // Мор. экол. жур. – 2006. – Т. 5, № 2. – С. 27–32.
24. Геоэкологический мониторинг на морских нефтегазовых акваториях / Л. И. Лобковский, Д. Г. Левченко, А. В. Леонов, А. К. Абросимов. – М. : Наука, 2005. – 326 с.
25. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В. А. Иванов, Е. И. Овсяный, Л. Н. Репетин, А. С. Романов, О. Г. Игнатьева ; Мор. гидрофиз. ин-т НАН Украины. – Севастополь, 2006. – 90 с.

26. Гидрометеорология и гидрохимия морей : Том IV: Чёрное море, вып. 3: Современное состояние загрязнения вод Чёрного моря / под ред. А. И. Симонова, А. И. Рябикина. – Севастополь : ЭКОСИ- Гидрофизика, 1996. – 230 с.
27. Горбенко, Ю. А. Экология морских организмов перифитона / Ю. А. Горбенко. – К. : Наук. думка, 1977. – 252 с.
28. Дембицкий, С. И. О некоторых результатах моделирования переноса нефтяного загрязнения в прибрежной зоне моря с учетом влияния процесса испарения нефти / С. И. Дембицкий, А. В. Ларионов, М.А. Уртенев // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. : Естественные науки. – 2010. – № 2. – С. 92–95.
29. Дембицкий, С. И. Оценка экологической безопасности береговой зоны Азовского моря к углеводородному загрязнению / С. И. Дембицкий, А. А. Корнев // Геология, география и глобальная энергия. – 2012. – № 2. – С. 179–185.
30. Дорошенко, Ю. В. Микрофлора систем гидробиологической очистки морских вод : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.17 / Дорошенко Юлия Валерьевна. – Севастополь, 2009. – 20 с.
31. Дурягина, Е. Г. Мониторинг нефтеразливов / Е. Г. Дурягина // Уч. зап. Росс. гос. гидромет. ун-та. – 2010. – № 12. – С. 110–119.
32. Дурягина, Е. Г. Нефтепродукты в морской воде / Е. Г. Дурягина // Уч. зап. Росс. гос. гидромет. ун-та. – 2011. – № 17. – С. 122–130.
33. Дятловицкая, Э. В. Липиды как биоэффекторы. Введение / Э. В. Дятловицкая, В. В. Безуглов // Биохимия. – 1998. – Т. 63, вып. 1. – С. 3–5.
34. Евтушенко, Н. В. Нефтепроявления в юго-восточной части Чёрного моря по данным космической радиолокации / Н. В. Евтушенко, А. Ю. Иванов // Исслед. Земли из космоса. – 2012. – № 3. – С. 24.
35. Егорова, Е. Н. Виды природных ресурсов морской экосистемы, чувствительных к воздействию нефтяного загрязнения, возникающего в

- результате аварийных разливов / Е. Н. Егорова // Нефтегазовое дело. - 2004. - Режим доступа : www.ogbus.ru/authors/Egorova/Egorova_1.pdf.
36. Замыслова, Т. Н. Расчет количества нефтяных углеводородов в прибрежных наносах при условии образования мономолекулярного слоя на поверхности частиц / Т. Н. Замыслова // Мор. экол. журн. – 2009. – Т. 8, № 1. – С. 37–41.
37. Згуровская, Л. Н. Влияние нефтяного ростового вещества на интенсивность фотосинтеза и темп деления клеток / Л. Н. Згуровская // Гидробиол. журн. –1969. – Т. 5, № 1. – С. 55–59.
38. Зернов, С. А. К вопросу об изучении жизни Чёрного моря / С. А. Зернов. – Спб : Тип. Импер. акад. наук, 1913. – 299 с. – (Записки Императорской Академии наук. Сер. 8, Т. 32, № 1).
39. Иванов, А. Ю. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием географических информационных систем и космической радиолокации / А. Ю. Иванов, В. В. Затыгалова // Исслед. Земли из космоса. – 2007. – № 6. – С. 46–63.
40. Иванов, А. Ю. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря) / А. Ю. Иванов, С. В. Востоков, И. С. Ермошкин // Исслед. Земли из космоса. – 2004. – № 4. – С. 82–92.
41. Изменение физиолого-биохимических показателей мидий (*Mytilus galloprovincialis*) под воздействием нефтяного загрязнения донных отложений / С. Ю. Чередников, И. Е. Цыбульский, А. Ю. Виноградов, Д. Ф. Афанасьев, Т. О. Барабашин, А. А. Клёнкин, М. А. Цыбульская, О. П. Купрюшкина // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоёмов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. тр. (2004–2005 гг.). – Ростов/нД., 2006. – С. 429–440.
42. Израэль, Ю. А. Антропогенная экология океана / Ю. А. Израэль, А. В. Цыбань. – М. : Наука, 2009. – 529 с.

43. Исследования липидов гидробионтов / В. Н. Акулин, С. П. Касьянов, В. Г. Рыбин, А. Е. Караулов, М. И. Юрьева // Известия ТИНРО. – 2005. – Т. 141. – С. 335–347.
44. Калугина–Гутник, А. Д. Фитобентос Чёрного моря / А. Д. Калугина–Гутник. – К. : Наук. думка, 1975. – 246 с.
45. Капитоненко, З. В. Влияние нефти на живые организмы в экосистемах различных типов / З. В. Капитоненко // Вестник ИНЖЭКОНа. Сер. : Технические науки. – 2011. – № 8. - С. 63–67.
46. Касымов, А. Г. Накопление нефти моллюсками / А. Г. Касымов, Н. Ф. Лиходеева // Гидробиол. журн. – 1984. – Т. 20, № 4. – С. 63–66.
47. Каретникова, Е. А. Миграция n-алканов дизельного топлива по трофической цепи: бактерии – инфузории / Е. А. Каретникова, А. Д. Жиркова // Изв. РАН. Сер. биол. – 2005. – № 3. – С. 375–379.
48. Киреева, Н. А. Характеристика белвитамила, используемого для рекультивации нефтезагрязненных природных объектов / Н. А. Киреева, Т. С. Онегова, А. С. Григориади // Вестн. Башкир. ун-та. – 2008. – Т.13, № 2. – С. 279–281.
49. Кирпенко, Н. И. Влияние высших водных растений на микроводоросли (обзор) / Н. И. Кирпенко, О. М. Усенко // Гидробиол. журн. – 2012. – Т. 48, № 6. – С. 64–88.
50. Клёнкин, А. А. Динамика распределения нефтепродуктов в воде и донных осадках Азовского и Чёрного морей после аварии судов в Керченском проливе / А. А. Клёнкин, С. А. Агапов // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38, № 2. – С. 214–222.
51. Когтева, Г. С. Ненасыщенные жирные кислоты как эндогенные биорегуляторы. Обзор / Г. С. Когтева, В. В. Безуглов // Биохимия. – 1998. – Т. 63, вып. 1. – С. 6–15.
52. Комплексная оценка загрязнения донных отложений Севастопольской бухты / О. Г. Игнатьева, Е. И. Овсяный, А. С. Романов, Л. В. Малахова, С. К. Костова // Система контроля окружающей среды : Мониторинг и

- модели : сб. науч. тр. / Мор. гидрофиз. ин-т НАН Украины – Севастополь, 2003. – С. 93–95.
53. Комплексная оценка уровня загрязненности воды и донных отложений Керченского предпроливья Чёрного моря / Л. К. Себах, Т. М. Панкратова, Т. М. Авдеева, Л. С. Вороненко. - Симферополь : Крым РЦНТЭИ, 2000. – № 29.
54. Копытов, Ю. П. Схема комплексного биохимического анализа гидробионтов / Ю. П. Копытов, И. А. Дивавин, И. М. Цымбал // Рациональное использование ресурсов моря – важнейший вклад в реализацию продовольственной программы : материалы конф., Севастополь 10–11 декабря 1984 г. – Севастополь, 1982. – Ч. 2. – С. 227–231. - Деп. в ВИНТИ 16.04.85, № 2556-85.
55. Кравченко, Ю. А. Современный мониторинг загрязнения вод Чёрного моря / Ю. А. Кравченко, Е. Б. Крицкая // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 10. – С. 37.
56. Крепс, Е. М. Липиды клеточных мембран. Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов / Е. М. Крепс. – Л. : Наука, 1981. – 339 с.
57. Круглякова, Р. П. Оценка техногенного загрязнения нефтепродуктами прибрежной зоны российского сектора Чёрного моря / Р. П. Круглякова, Л. В. Прокопцева, Г. Н. Прокопцев // Геохимические исследования и охрана недр. – 1997. – № 4. – С. 12–19.
58. Крыленко, В. И. Анализ аквагенных процессов загрязнения и самоочищения прибрежной акватории моря / В. И. Крыленко, В. В. Крыленко, Е. В. Дзагания. – Донецк : Экотехнология, 2006. – 128 с.
59. Кузнецов, А. Н. Нефтяное загрязнение побережья Чёрного моря в районе г. Новороссийска (по результатам многолетних исследований) / А. Н. Кузнецов, Ю. А. Федоров, К. А. Заграничный // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. : Естественные науки. – 2013. – № 1. – С. 71–77.

60. Куликова, И. Ю. Микробиологические показатели в оценке самоочищающей способности вод Северного Каспия от нефтяного загрязнения / И. Ю. Куликова // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений : материалы междунар. науч.-практ. конф., 16-18 февраля 2005 г. – Астрахань, 2005. – С. 114–117.
61. Лаврова, О. Ю. Катастрофический разлив нефти в Мексиканском заливе в апреле–мае 2010 г. / О. Ю. Лаврова, А. Г. Костяной // Исслед. Земли из космоса. – 2010. – № 6. – С. 67–72.
62. Ларин, А. А. Накопление загрязняющих веществ в моллюсках из юго-восточного района Азовского моря / А. А. Ларин, Л. Ф. Павленко, И. Г. Корпакова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – № 1. – С. 45–48.
63. Ларин, А. А. Накопление нефтяных углеводородов в бентосе Азовского моря / А. А. Ларин // Понт Эвксинский V: междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых по проблемам водных экосистем, 24–27 сентября 2007 г. : тез. докл. – Севастополь, 2007. – С. 49–50.
64. Ларин, А. А. Влияние нефтяного загрязнения на биохимические показатели *Mytilus galloprovincialis* / А. А. Ларин // Материалы междунар. науч. конф. – Саранск, 2007. – С. 100–101.
65. Леонов, А. В. Математическое моделирование процессов загрязнения морской среды нефтяными углеводородами и их деградации в экосистеме Каспийского моря / А. В. Леонов, О. В. Чичерина, Л. В. Семеняк // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38, № 6. – С. 707–732.
66. Леонов, А. В. Биотрансформация нефтяных углеводородов в Каркинитском заливе Чёрного моря / А. В. Леонов, Д. Я. Фащук // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33, № 3. – С. 311–326.
67. Леонов, А. В. Моделирование загрязнения морской среды нефтяными углеводородами и их биотрансформация в водах Татарского пролива / А.

- В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37, № 2. – С. 225–238.
68. Макаров, М. В. Экологические особенности Gastropoda (Mollusca) верхней сублиторали Крыма (Чёрное море) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.17. / Макаров Михаил Валерьевич. – Севастополь, 2008. – 21 с.
69. Маккавеева, Е. Б. Беспозвоночные зарослей макрофитов Чёрного моря / Е. Б. Маккавеева. – К. : Наук. думка, 1979. – 228 с.
70. Маркова, О. С. Восприимчивость водной флоры к нефтяному загрязнению / О. С. Маркова, Э. В. Тлеулеева, Т. Ф. Курочкина // Естественные науки. – 2010. – № 3. – С. 41–45.
71. Матишов, Г. Г. Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. / Г. Г. Матишов, Ю. И. Инжебейкин, Р. М. Савицкий // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 3. – С. 259–273.
72. Методы исследования органического вещества в океане / под ред. Е. А. Романкевича. – М.: Наука, 1980. – 344 с.
73. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) / И. И. Леоненко, В. П. Антонович, В. П. Андрианов, И. В. Безлуцкая, К. К. Цымбалюк // Методы и объекты химического анализа. – 2010. – Т. 5, № 2. – С. 58–72.
74. Микробиологическая составляющая 50 летних экологических исследований акватории юго-западной оконечности Крыма (Чёрное море) / О. Г. Миронов, Т. О. Миронова, И. П. Муравьева, Л. В. Енина, О. А. Миронов // Тр. ин-та микробиологии Нац. акад. наук Азербайджана. – Баку, 2011. – Т. 9, № 1. – С. 147–156. – (Специальный выпуск на основе материалов международной конференции «Микробиология и экология: пути интеграции, проблемы и перспективы»).
75. Мильчакова, Н. А. Проблемы охраны макрофитов Черноморского шельфа Украины / Н. А. Мильчакова // Ботаника и микология –

- проблемы и перспективы на 2011-2020 гг. : материалы Всеукр. науч. конф. – К., 2011. – С. 79–81.
76. Миронов, О. А. Нефтяные углеводороды на поверхности водорослей макрофитов гидротехнических сооружений / О. А. Миронов // Экология моря : сб. науч. тр. – Севастополь, 2007. – Вып. 74. – С. 56–58.
77. Миронов, О. А. Применение метода наименьших квадратов (МНК) при санитарно-биологических исследованиях среды / О. А. Миронов // Экология моря : сб. науч. тр. – Севастополь, 2008. – Вып. 76. – С. 100–102.
78. Миронов, О. А. Нефтяные углеводороды в сообществе *Cystoseira barbata* – *Rissoa splendida* акватории пологого каменистого берега (Севастополь, Чёрное море) / О. А. Миронов // Экология моря : сб. науч. тр. – Севастополь, 2009. – Вып. 79. – С. 70–72.
79. Міронов, О. А. Мікробіологічна складова індикації нафтового забруднення морської акваторії / О. А. Міронов // Актуальні проблеми та перспективи розвитку природничих наук : Зб. матеріалів II Всеукр. наук.-практ. конф. студентів та мол. учених. – Запоріжжя, 2011. – С. 78–79.
80. Миронов, О. А. Методы и результаты мониторинга нефтяного загрязнения прибрежной акватории г. Севастополя / О. А. Миронов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2011. – Вып. 25, т.1. – С. 206–212.
81. Миронов, О. А. Анализ санитарно-биологических показателей морской среды методом наименьших квадратов (МНК) / О. А. Миронов // Понт Эвксинский VI : междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых по проблемам водных экосистем, 21-24 сентября 2009 г. : тез. докл. – Севастополь, 2009. – С. 84.
82. Миронов, О. А. Липидно-углеводородный состав *Cystoseira* sp. и *Rissoa* sp. в прибрежной акватории Севастополя (Чёрное море) / О. А. Миронов

- // Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. Гнатюка. Сер.: Біологія. Спец. вып. «Гідроекологія». – 2010. - № 3 (44). – С. 173–176.
83. Миронов, О. А. Липиды и углеводороды в макро- и микробиоте прибрежных зарослевых сообществ юго-западной оконечности Крыма (Чёрное море) / О. А. Миронов // Биоразнообразие. Экология. Адаптация. Эволюция: тез. VI Междунар. конф. молодых учёных, посвященной 150-летию со дня рождения известного ботаника В. И. Липского (Одесса, 13–17 мая 2013 г.). – Одесса: Печатный дом, 2013. – С. 41–42.
84. Миронов, О. А. Особенности накопления нефтяных углеводородов (НУ) гидробионтами зарослевых сообществ на малых глубинах /О. А. Миронов // Понт Эвксинский VIII: междунар. науч.-практич. конф. молодых учёных по проблемам водных экосистем, посвящённой 50-летию образования ИнБЮМ НАНУ, 1-4 октября 2013 г.: тез. докл. – Севастополь, 2013. – С. 99–100.
85. Миронов, О. А. Содержание общих липидов в моллюсках сообщества морской травы *Zostera noltii* в б. Казачьей (Севастополь, Чёрное море) / О. А. Миронов // Мор. экол. журн. – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 27–29.
86. Миронов, О. А. Факторы, влияющие на накопление нефтяных углеводородов (НУ) в морских организмах при низких уровнях нефтяного загрязнения морской воды. / О. А. Миронов // Ломоносовские чтения: науч. конф. – 2014 г.: тез. докл., Севастополь, 2014. – С. 55.
87. Миронов, О. А. Переход нефтяных углеводородов из донных осадков в морскую воду / О. А. Миронов // Ломоносовские чтения: науч. конф. – 2013 г.: тез. докл., Севастополь, 2013. – С. 41–42.
88. Миронов, О. А. Нефтяное загрязнение берегов Севастополя / О. А. Миронов, Т. О. Миронова, И. П. Муравьёва // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2012. – Вып. 26, т.1. – С. 212–216.

89. Миронов, О. Г. Диатомовые водоросли у берегов Феодосии / О. Г. Миронов // Бот. журн. – 1961. – Т. 46, № 6. – С. 892–896.
90. Миронов, О. Г. Нефтеокисляющие микроорганизмы в море / О. Г. Миронов. – К. : Наук. думка, 1971. – 234 с.
91. Миронов, О. Г. Наукові основи радянського міжнародного проекту біологічного моніторингу нафтового забруднення Середземноморського басейну / О. Г. Миронов // Вісн. АН УРСР. – 1978. – № 8. – С. 84–87.
92. Миронов, О. Г. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами / О. Г. Миронов. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 128 с.
93. Миронов, О. Г. Микрофлора черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis* L. / О. Г. Миронов // Микробиология. – 1987. – Т. 56, вып. 1. – С. 162–163.
94. Миронов, О. Г. Биологические проблемы нефтяного загрязнения морей / О. Г. Миронов // Гидробиол. журн. – 2000. – Т. 36, № 1. – С. 82–96.
95. Миронов, О. Г. Санитарно-биологические направления исследований акватории контактной зоны «суша - море» / О. Г. Миронов // Экология моря : сб. науч. тр. – Севастополь, 2001. – Вып. 57. – С. 85–90.
96. Миронов, О. Г. Бактериальная трансформация нефтяных углеводородов в прибрежной зоне моря / О. Г. Миронов // Мор. экол. журн. – 2002. – Т. 1, № 1. – С. 56–66.
97. Миронов, О. Г. Техногенное воздействие нефтяных углеводородов на прибрежную зону моря / О. Г. Миронов // Вестн. СевНТУ. – 2005. – Вып. 39. – С. 132–137.
98. Миронов, О. Г. Потоки нефтяных углеводородов через морские организмы / О. Г. Миронов // Мор. экол. журн. – 2006. – Т. 5, № 2. – С. 5–14.
99. Миронов, О. Г. Мониторинг экологического состояния бухты Артиллерийской (Севастополь, Чёрное море) / О. Г. Миронов, С. В. Алёмов, Т. С. Осадчая, Е. В. Гусева, Т. О. Миронова, И. П. Муравьёва,

- О. А. Миронов, Л. В. Енина, Д. А. Алифанова, Н. Г. Волков // Мор. экол. журн. – 2012. – Т. XI, №1. – С. 41–52.
100. Миронов, О. Г. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке / О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, С. В. Алемов; НАН Украины, Ин-т биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 185 с.
101. Миронов, О. Г. Выживаемость некоторых морских планктонных и бентопланктонных водорослей в морской воде, загрязненной нефтепродуктами / О. Г. Миронов, Л. А. Ланская // Бот. журн. – 1963. – Т. 51, № 6. – С. 661–669.
102. Миронов, О. Г. Углеводороды в морских организмах / О. Г. Миронов, Т. Л. Щекатурина // Гидробиол. журн. – 1976. – Т. 12, № 6. – С. 5–14.
103. Михайлов, В. И. Нефтепродукты в экосистеме мирового океана и Чёрного моря / В. И. Михайлов, М. М. Монюшко // Системы контроля окружающей среды : средства, информационные технологии и мониторинг : сб. науч. тр. / НАН Украины, Мор. гидрофиз. ин-т. – Севастополь, 2009. – С. 423-430.
104. Многолетние изменения бентоса в районе Севастополя (Чёрное море) / Н. А. Болтачёва, С. А. Мазлумян, Е. А. Колесникова, М. В. Макаров // Экология моря : сб. науч. тр. – Севастополь, 2006. – Вып. 72. – С. 5–15.
105. Монюшко, М. М. Состояние загрязнения мирового океана различными формами нефтепродуктов / М. М. Монюшко // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. – 2008. – Т. 23, № 1. – С. 9–11.
106. Муравьёва, И. П. Химический состав зеленой водоросли *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. из обрастаний причалов Севастопольских бухт (Чёрное море) / И. П. Муравьёва // Экология моря : сб. науч. тр. – Севастополь, 2002. – Вып. 60. – С. 39–43.
107. Муравьева, И. П. Химический состав *Ulva rigida* Ag. из различных по степени загрязнения акваторий Севастополя (Чёрное море) / И. П.

- Муравьёва // Экология моря : сб. науч. тр. – Севастополь, 2002. – Вып. 59. – С. 74–79.
108. Муравьёва, И. П. Липидно-углеводородный состав *Mytilus Galloprovincialis* (Lamarck, 1819) из обрастаний гидротехнических сооружений Артиллерийской бухты (Севастополь, Чёрное море) / И. П. Муравьёва, Т. О. Миронова // Учёные записки Таврического нац ун-та им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2012. – Т. 25 (64), № 3. – С. 137–144.
109. Муравьёва, И. П. Сезонная динамика липидно-углеводородного состава макрофитообрастаний гидротехнических сооружений Артиллерийской бухты (Севастополь, Чёрное море) / И. П. Муравьёва, Т. О. Миронова // Учёные записки Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2011. – Т. 24 (63), № 4. – С. 166–170.
110. Муравьёва, И. П. Мониторинговые исследования липидно-углеводородного состава и некоторых микробиологических показателей микроперифитона гидротехнических сооружений (Севастополь, Чёрное море) / И. П. Муравьёва, Т. О. Миронова Л. В. Енина // Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. Гнатюка. Сер.: Біологія. Спец. випуск «Гідроекологія». – 2010. - № 3 (44). – С. 182–186.
111. Найданова, О. Г. Нефтеокисляющие бактерии как часть сообщества гетеротрофного бактериопланктона Севастопольской бухты / О. Г. Найданова, А. И. Ефремов // Экология моря : сб. науч. тр. - Севастополь, 2000. – Вып. 52. – С. 72–74.
112. Нельсон-Смит, А. Нефть и экология моря /А. Нельсон-Смит. – М. : Прогресс, 1977. – 302 с.
113. Немова, Н. Н. Биохимическая индикация состояния рыб / Н. Н. Немова, Р. У. Высоцкая. – М. : Наука, 2004. – 215 с.
114. Нижегородова, Л. Е. Биохимическая активность эпифитов микрофлоры некоторых прибрежных макрофитов Одесского залива / Л. Е.

- Нижегородова, Т. В. Домчинская // Всесоюз. совещ. по морской альгологии – макрофитобентосу : тез. докл. – М., 1974. – С. 94–96.
115. Немировская, И. А. Углеводороды в океане / И. А. Немировская. – М. : Науч. мир, 2004. – 328 с.
116. Немировская, И. А. Нефтяные углеводороды в океане / И. А. Немировская // Природа. – 2008. – № 3. – С. 17–27.
117. Осадчая, Т. С. Особенности пространственного распределения нефтяного загрязнения в Севастопольской бухте (Чёрное море) / Т. С. Осадчая // 2-й Всеукр. з'їзд екологів з міжнар. участю (Екологія/Ecology - 2009), 23-26 вересня 2009 р. : зб. наук. ст. – Вінниця, 2009. – С.165–168.
118. Осадчая, Т. С. Экологическое качество донных осадков Севастопольской бухты: ретроспектива и современное состояние / Т. С. Осадчая, С. В. Алёмов, Т. В. Шадрина // Экология моря : сб. науч. тр. - Севастополь, 2004. – Вып. 66. – С.82–86.
119. Осадчая, Т. С. Региональные особенности нефтяного загрязнения прибрежных акваторий Чёрного моря / Т. С. Осадчая // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. – 2012. – Т. 31, № 1. – С. 66–68.
120. Орадовский, С. Г. Комплекс химико-аналитических методов исследования нефтяного загрязнения морских вод / С. Г. Орадовский // Методы исследования органического вещества в океане. - М. : Наука, 1980. – С. 249–261.
121. Отчет о предварительных результатах экспедиции Института океанологии им. П. П. Ширшова и Всемирного фонда дикой природы (WWF) в районе Керченского пролива для изучения экологических последствий разлива мазута после аварии танкера «Волгонефть–139» 11 ноября 2007 г. / под ред. В. А. Спиридонова. – М., 2008. – 67 с.
122. Оценка антропогенной напряжённости экосистем Чёрного моря на основе интегрального показателя экологической напряжённости / Л. П.

- Ярмак, О. Н. Суслов, О. А. Сущенко, М. М. Яценко // Водное хозяйство России. – 2008. – № 5. – С. 72–83.
123. Пат. 64294 U UA, МПК G01N 33/18, A01K61/00 Спосіб оцінки потоків углеводнів у прибрежних морських акваторіях / Миронова Т. О. (UA), Миронов О. А. (UA), Муравйова І. П. (UA); заявник Інститут біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України (UA). - № u2011011906; заявл. 18.02.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. по 21, 2011.
124. Патин, С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана / С. А. Патин. – М. : Пищпромиздат, 1979. – 304 с.
125. Патин, А. С. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа / А. С. Патин. – М. : ВНИРО, 1997. – 350 с.
126. Патин, С. А. Нефтяные разливы и их воздействие на окружающую среду / С. А. Патин. – М. : ВНИРО, 2008. – 510 с.
127. Переход органических веществ из прибрежных наносов в морскую воду / О. Г. Миронов, И. П. Муравьева, Т. О. Гапонюк, Т. Н. Замыслова // Мор. экол. журн. – 2004. – Т. 3, № 3. – С. 55–59.
128. Петров, К. М. Уязвимые звенья физико-географических процессов в мировом океане / К. М. Петров // Глобальные процессы современности и комплексное землевладение. – Л. : Наука, 1968. – С. 72–80.
129. Петухова, Г. А. Моллюски как чувствительные тест-индикаторы состояния перифитона при действии антропогенного пресса загрязнителей / Г. А. Петухова // Вестн. Тюменского гос. ун-та. – 2005. – № 5. – С. 97–100.
130. Питерс, А. Разливы нефти и окружающая среда / А. Питерс // Экология. – 2006. – № 4. – С. 11–14.
131. Попова, Л. А. Цилиоперифитон искусственных субстратов (гидротехнические сооружения) и его участие в передаче нефтяных углеводородов по пищевой цепи / Л. А. Попова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное

- использование ресурсов шельфа : сб. науч. тр. / НАН Украины, Мор. гидрофиз. ин-т. – Севастополь, 2012. – Т. 1, вып. 26. – С. 81-87.
132. Попова, Л. А. Цилиоперифитон искусственных субстратов в акваториях с различной степенью загрязненности нефтяными углеводородами (Севастополь, Чёрное море) / Л. А. Попова // Мор. экол. журн. – 2011. – Т. 10, № 3. – С. 43–47.
 133. Практикум по микробиологии / под ред. А. И. Нетрусова. – М. : Центр «Академия», 2005. – 608 с.
 134. Предварительные результаты оценки нефтяного загрязнения Керченского пролива после аварии судов 11 ноября 2007 г. / В. Н. Еремеев, О. Г. Миронов, Алемов С. В., Бурдиян Н. В., Шадрина Т. В., Тихонова Е. А., Волков Н. Г. // Мор. экол. журн. – 2008. – Т. 7, № 3. – С. 15–23.
 135. Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. Т. 5 : Эколого-токсикологические аспекты / под ред. С. А. Патины. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 118 с.
 136. Репина (Смирнова), М. А. Нефтеуглеводородокисляющие микроорганизмы прибрежных вод юга острова Сахалин : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Репина (Смирнова) Мария Андреевна. – Владивосток, 2009. – 19 с.
 137. Романкевич, Е. А. Потоки и массы органического углерода в океане / Е. А. Романкевич, А. А. Ветров // Геохимия. – 1997. – № 9. – С. 945–952.
 138. Рубцова, С. И. Оценка экологической чувствительности Севастопольского побережья к нефтяному загрязнению / С. И. Рубцова // Экология моря : сб. науч. тр. - Севастополь, 2010. – Вып. 79. – С. 73–79.
 139. Самоочищение в прибрежной акватории Чёрного моря / О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, М. И. Кучеренко, Э. П. Тархова. – К. : Наук. думка, 1975. – 143 с.
 140. Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / под общей ред. О. Г. Миронова ; НАН Украины,

- Ин-т биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. –192 с.
141. Скрыпник, Г. В. Углеводороды в экосистеме Азовского моря : автореф. дисс. ... канд. хим. наук : 03.00.16 / Скрыпник Галина Васильевна. – Ростов/нД, 2008. – 20 с.
 142. Смирнов, Б. А. К проблеме биохимического происхождения метано-нафтенных углеводородов и других классов соединений нефти / Б. А. Смирнов // Изв. АН СССР. Сер. биология. – 1969. – № 4. – С. 529–532.
 143. Современное экологическое состояние Керченской бухты / С. С. Жугайло, О. А. Петренко, Л. К. Себах, Т. М. Авдеева // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна : материалы IV междунар. конф., 8-9 октября 2008 г. – Керчь, 2009. – С. 8–11.
 144. Соловьёва, О. В. Потоки нефтяных углеводородов через поселение мидий, обитающих на южном молу Севастопольской бухты (Чёрное море) / О. В. Соловьёва // Мор. экол. журн. – 2007. – Т. 6, № 4. – С. 61–68.
 145. Степаньян, О. В. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей / О. В. Степаньян, Г. М. Воскобойников // Биология моря. – 2006. – Т. 32, № 4. – С. 241–248.
 146. Стоянов, В. У. Оценка опасности загрязнения тяжёлыми нефтепродуктами донной и береговой части акватории Крымского полуострова в результате перевозки нефтепродуктов морскими судами / В. У. Стоянов, А. В. Фридман // Строительство и техногенная безопасность. – 2010. – Вып. 32. – С. 126–136.
 147. Структура пищевой сети сообщества планктона Рыбинского водохранилища: сезонные изменения микробиальной «петли» / А. И. Копылов, А. В. Романенко, Т. С. Масленикова, З. Н. Мельникова, В. Н. Столбунова, В. В. Соловьев // Трофические связи в водных сообществах

- и экосистемах : материалы междунар. конф., 28-31 октября 2003 г. – Борок, 2003. – С. 56–57.
148. Тихонова, Е. А. Потоки нефтяных углеводородов через бентосные сообщества *Abra ovata* – *Nassarius reticulatus* / Е. А. Тихонова // Экология моря : сб. науч. тр. - Севастополь, 2009. – Вып. 77. – С. 91–93.
149. Тихонова, Е. А. Роль микроорганизмов в передаче нефтяных углеводородов по цепи: донные осадки – *Abra segmentum* / Е. А. Тихонова // Экология моря : сб. науч. тр. - Севастополь, 2009. – Вып. 79. – С. 85–89.
150. Фокина, Н. Н. Липидный состав мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря. Влияние некоторых факторов среды обитания / Н. Н. Фокина, З. А. Нефедова, Н. Н. Немова. – Петрозаводск : Карельский науч. центр РАН, 2010. – 243 с.
151. Хайлов, К. М. Экологический метаболизм в море / К. М. Хайлов. – К. : Наук. думка, 1971. – 251 с.
152. Хотимченко, С. В. Липиды морских водорослей макрофитов и трав: «Структура, распределение, анализ» / С. В. Хотимченко. – Владивосток : Дальнаука, 2009. – 234 с.
153. Христенко, С. И. Транспорт и окружающая среда (морские нефтеперевозки) / С. И. Христенко. – К. : Наук. думка, 1983. – 200 с.
154. Чёрное море : сб. – Л. : Гидрометеиздат, 1983. – 408 с.
155. Чуприн, Д. В. Моделирование динамики нефтяного загрязнения моря с учётом биодеструкции, диффузии и испарения / Д. В. Чуприн, Т. Л. Шапошникова, М. Х. Уртенев // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2012. – № 3. – С. 22–25.
156. Чухчин, В. Д. Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря / В. Д. Чухчин. – К. : Наук. думка, 1984. – 176 с.
157. Шуйский, Ю. Д. Оценка состояния берегов Чёрного моря в течение ближайших десятилетий / Ю. Д. Шуйский // Екологічні проблеми Чорного моря. – Одеса : ОЦНТІ. – 2001. – С. 367–373.

158. Щекатурина, Т. Л. Аккумуляция углеводородов нефти двустворчатыми моллюсками *Mytilus galloprovincialis* L. / Т. Л. Щекатурина, О. Г. Миронов // Гидробиол. журн. – 1987. – Т. 23, № 2. – С. 71–76.
159. Щекатурина Т. Л. Углеводородный состав, его динамика и метаболизм у морских организмов / Т. Л. Щекатурина // Биологические аспекты нефтяного загрязнения морской среды. – К. : Наук. думка. – 1988. – С. 186–234.
160. Экосистема Азовского моря: Перифитон искусственных рифов / Д. Ф. Афанасьев, И. Г. Карпалова, Т. О. Барабашин, В. А. Гринцухин, Б. Д. Елецкий, С. Ю. Чередников. - Ростов/нД : ФГУП АзНИИРХ, 2009. – 80 с.
161. API (American Petroleum Institute). Oil and natural gas transportation: tankers, pipelines, trucks, rails. – American Petroleum Institute, 2000.
162. Awad, H. Determination of rate of hydrocarbon accumulation by mussels in chronic pollution conditions / H. Awad // Science et Peche. – 1979. – Vol. 291. – P. 9–15.
163. Baker, J. M. Natural recovery of cold water marine environment after oil spill : Presented at the Thirteenth Annual Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar / Exxon Company U.S.A. – S. n., 1990. – 111 p.
164. Bioenergetics and survival of the marine mussels *Mytilus edulis* L. during long-term exposure to the water-soluble fraction of Cook Inlet crude oil / W. B. Strickle, S. D. Rice, C. Villars, W. Metcalf // Physiological responses of marine biota to pollutants / Eds.: F. J. Vernberg, A. Calabrese, F. P. Thurberg, W. B. Vernberg. - London ; New York ; San Francisco, 1985. - P. 427-446.
165. Black Sea Transboundary Diagnostic Analysis. New York : United Nations Development Programme. – 1997. – 142 p.
166. Challenges to international waters; regional assessments in global perspective / UNEP (United Nations Environment Programme). – Nairobi, Kenya : UNEP, 2006. - 125 p. - (Global International Water Assessment Final Report).

167. Choiseul, V. The distribution of hydrocarbons on the east and south-west Irish coasts and in the Liffey estuary / V. Choiseul, J. G. Wilson, E. Nixon // Biol. and Environ. Proc. Royal Irish Academy. – 1998. – Vol. 98B, iss. 2. – P. 75–86.
168. Cohen, M. A. Water pollution from oil spills / M. A. Cohen // Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics. – 2013. – Vol. 3. – P. 121–126.
169. Couch, J. A. Atrophy of diverticular epithelium as an indicator of environmental irritants in the oyster, *Crassostrea virginica* / J. A. Couch // Mar. Environ. Res. – 1984. – Vol. 14, no. 1-4. – P. 525–526.
170. Dauvin, J. C. Polychaete / amphipod ratio revisited / J. C. Dauvin, T. Ruellet // Mar. Pollut. Bull. – 2007. – Vol. 55, no. 1. – P. 215–224.
171. Dixon, W. J. Introduction to statistical analysis : 4th ed. / W. J. Dixon, F. J. Massey. – New York : McGraw-Hill, 1983.
172. Estimates of oil entering the marine environment from sea – based activities / GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution) : Rep. Stud. GESAMP. – London, 2007. – No. 75. – 96 p.
173. Evaluating the needs of risk assessment methods of potentially polluting shipwrecks / H. Landquist, I.-M. Hassellöv, L. Rosén, J. F. Lindgren, I. Dahllöf // J. Environ. Manage. - 2013. – Vol. 119. – P. 85–92.
174. Fingas, M. F. Basics of oil spill cleanup. 2nd ed. / M. F. Fingas. – Boca Raton : CRC Press, 2000. – 233 p.
175. Fingas, M. Estimating LNG spreading on water / M. Fingas, W. J. Lehr, D. Simecek-Beatty // Proceedings of the 2005 International Oil Spill Conference. – Washington, D.C. : API, 2005. – 4 p.
176. FUS Mussel watch, 1976–1978: An overview of the trace metal, DDT, PCB, hydrocarbon and artificial radionuclide data / J. W. Farrington, F. D. Goldberg, R. W. Risebrough, J. H. Martin, V. T. Bowen // Environ. Sci. Technol. – 1983. – Vol. 17. – P. 490–496.

177. Hsiao, S. T. C. Effect of crude oils and the oil dispersant "Corexit" on primary production of arctic marine phytoplankton and seaweeds / S. T. C. Hsiao, D. W. Kettle, M. G. Foy // *Environ. Pollut. Bull.* – 1978. – Vol. 15, no. 3. – P. 209–221.
178. Huz, R. Oil spills / R. de la Huz, M. Lastra, J. López // *Encyclopedia of Environmental Health* / Ed. Jerome Nriagu. – Burlington : Elsevier, 2011. – P. 251–255.
179. ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation). Oil spill effects on fisheries. Technical Information Paper no.3. – London : ITOPF, 2004. – 8 p.
180. Jacqueline, M. Environmental Sensitivity Index guidelines / M. Jacqueline, J. Halls, S. Zengel. - Seattle, Washington : NOAA, 1995. - 78 p.
181. Lewis, J. R. The composition and functioning of benthic ecosystem in relation to the assessment of long-term effects of oil pollution / J. R. Lewis // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* – 1982. – Vol. 297. – P. 257–267.
182. Lowe, D. M. Effects of oil on digestive cells in mussels: Quantitative alterations in cellular and lysosomal structure / D. M. Lowe, M. N. Moore, K. R. Clarke // *Aquat. Toxicol.* – 1981. – Vol. 1. – P. 213–216.
183. Lowe, D. M. Hydrocarbon exposure in mussels: A quantitative study on the responses in the reproductive and nutrient storage cell systems / D. M. Lowe, R. K. Pipe // *Aquat. Toxicol.* – 1986. – Vol. 8. – P. 265–272.
184. Lowe, D. M., Pipe R. K. Mortality and quantitative aspects of storage cell utilization in mussels, *Mytilus edulis*, following exposure to diesel oil hydrocarbons / D. M. Lowe, R. K. Pipe // *Mar. Environ. Res.* – 1987. – Vol. 22. – P. 243–251.
185. McDowell, J. Biological Effects of Contaminants on Marine Shellfish and Implications for Monitoring Population Impacts / J. McDowell // *The Decline of Fisheries Resources in New England : Evaluating the Impact of Overfishing, Contamination, and Habitat Degradation* / Eds.: R. Buchsbaum, J. Pederson, W. E. Robinson. – Cambridge, 2005. – P. 119–130.

186. Mironov, O. A. Oil contamination of the beach area of Sevastopol / O. A. Mironov // Материалы междунар. науч-техн. Конф. студентов, асп. и мол. Ученых / СевНТУ. - Севастополь, 2008. – Т. 2. – С. 147–148.
187. Mironov, O. A. Oil in the Coastal Communities of the Sevastopol Region (the Black Sea) / O. A. Mironov // Abstracts of 3rd Bi-annual BS Scientific Conference and UP-GRADE BS-SCENE Project Joint Conference Odessa, Ukraine, 1–4 November 2011. – P. 55.
188. Mironov, O. A. Accumulation of the Oil Hydrocarbon by the Marine Organisms of the Seaweed *Zostera noltii* Thickets in the Kazacha Bay (the Black Sea) / O. A. Mironov // Hydrobiol. Journ. – 2014. – Vol. 50, Issue 3. – P. 90–94.
189. Mironov, O. G. Microorganisms growing in oil in western and central region of the Mediterranean sea / O. G. Mironov // Rev. Intern. Oceanogr. Med. – 1970. – Vol. 17. – P. 79–85.
190. Mironov, O. G. Distribution of hydrocarbon-oxidizing microorganisms in some seas / O. G. Mironov // Rev. Intern. Oceanog. Med. - 1971. - Vol. 24. - P. 135-137.
191. Mironov O. G. Hydrocarbon-oxygen bacteria of some regions in the Pacific and Indian Oceans / O. G. Mironov // Biol. Research in Tropical Zone of the Ocean. – M. – 1975. – P. 16–23.
192. Molecular, cellular and physiological effects of oil-derived hydrocarbons on mollusks and their use in impact assessment / M. N. Moore, D. R. Livingstone, J. Widdows, D. M. Lowe, R. K. Pipe // Phil. Trans. R. Soc. Lond. – 1987. – Vol. 316. – P. 603–623.
193. Moore, M. N. Use of microstereology and quantitative cytochemistry to determine the effects of crude oil-derived aromatic hydrocarbons on lysosomal structure and function in a marine bivalve mollusk, *Mytilus edilis* / M. N. Moore, K. R. Clarke // Histochem. J. –1982. – Vol. 14. – P. 713–18.
194. Moore M. N. Hydrocarbons in marine mollusks: Biological effects and ecological consequences / Moore M. N., Livingstone D. R., Widdows J. //

- Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment / Ed. U. Varanasi. - Boca Raton, FL., 1989. – P. 291–328.
195. National Academy of Science (NAS). Oil in the Sea. - Washington. D.C. : National Academy Press, 1985. – 601 p.
196. NAS (National Academy of Sciences). Oil in the sea III: Inputs, fates, and effects. National Research Council. – Washington, D.C. : National Academies Press, 2003. – 265 p.
197. National Academy of Sciences (NAS) : The International Mussel Watch. - Washington D.C. : National Research Council Publications office, 1980. – 248 p.
198. Nechev, J. Effect of cobalt ions on lipid and sterol metabolism in the marine invertebrates *Mytilus galloprovincialis* and *Actinia equina* / J. Nechev, K. Stefanov, S. Popov // Comp. Biochem. Physiol. A. – 2006. – Vol. 144. – P. 112–118.
199. North Sea oil and the environment. Developing oil and gas resources, environmental impacts and responses / Ed. Cairns W. J. - London ; New York : Elsevier Applied Science. – 1992. – 722 p.
200. Oil and chemical spills / M. S. Baawain, A. Sana, J. N. Al-Sabahi, M. M. Al-Wardy, A. H. Al-Yaqoobi // Encyclopedia of Environmental Health / Ed. Jerome Nriagu. – Burlington : Elsevier, 2011. – P. 231–239.
201. Oil spill accident in the Kerch Strait in November 2007 / Eds.: A. Korshenko, Y. Ilyin, V. Velikova ; Black Sea Commission Publications – M. : Nauka, 2011. – 288 p.
202. Oil spill hazard and risk assessment for the shorelines of a Mediterranean coastal archipelago / A. Olita, A. Cucco, S. Simeone, A. Ribotti, L. Fazioli, B. Sorgente, R. Sorgente // Ocean Coast. Manage. - 2012. – Vol. 57. – P. 44–52.
203. Oil spill risk in the Barents Sea – oil industry versus maritime sector / E. Drøgsund, B. O. Johannessen, P. Hoffman, S. Kjellström, D. N. Veritas // Proceedings of the 2004 International Conference and Exhibition on Oil Spill

- Technology (Interspill-2004). Presentation N. 411. – Trondheim (Norway), 2004. – 14 p.
204. Patin, S. A. Environmental impact of the offshore oil and gas industry / S. A. Patin. - New York : EcoMonitor Publ, 1999. – 435 p.
205. Pipe, R. K. The ultrastructural localization of acid hydrolases in developing oocytes of *Mytilus edulis* / R. K. Pipe, M. N. Moore // Histochem. J. – 1985. – Vol. 17. – P. 939–949.
206. Raaymakers, S. Maritime transport and high seas governance – regulation, risk and the IMO regime / S. Raaymakers // International Workshop on Governance of High Seas Biodiversity Conservation, 17-20 June 2003. – Cairns, Australia, 2003. – 37 p.
207. Reddin, A. Effect of oils on cell membrane permeability in *Fucus serratus* and *Laminaria digitata* / A. Reddin, G. N. Prendeville // Mar. Pollut. Bull. - 1981. – Vol. 12, no. 1. – P. 339–342.
208. Relationship between shoreline substrate type sensitivity of seafloor habitats at risk to oil pollution / R. Leiger, R. Aps, J. Kotta, Ü. K. Orviku, M. Pärnoja, H. Tõnisson // Ocean Coast. Manage. - 2012. – Vol. 66. – P. 12–18.
209. Review of oil and HNS accidental spills in Europe: Identifying major environmental monitoring gaps and drawing priorities / T. Neuparth, S. M. Moreira, M. M. Santos, M. A. Reis-Henriques // Mar. Pollut. Bull. - 2012. – Vol. 64, iss. 6. – P. 1085–1095.
210. Role of anionic phospholipids in the adaptation of *Bacillus subtilis* to high salinity / C. S. Lopez, A. F. Alice, H. Heras, E. A. Rivas, C. Sanches-Rivas // Microbiology. – 2006. – Vol. 152. – P. 605–616.
211. Shigenaka, G. Use of mussels and semipermeable membrane devices to assess bioavailability of residual polynuclear aromatic hydrocarbons three years after the Exxon Valdez oil spill / G. Shigenaka, C. B. Jr. Henry // Exxon Valdez oil spill: fate and effects in Alaskan waters / American Society for Testing and Materials ; Eds.: P. G. Wells, J. N. Butler, J. S. Hughes. - Philadelphia, 1993. – P. 239–260.

212. Short term effects of the Prestige oil spill on cover of exposed rocky intertidal fauna and on mortality of the cirriped *Chthamalus montagui* / E. Vazquez, V. Urgorri, F. Ramil, J. Parapar, J. Cristobo, J. Freire // VERTIMAR 2005 : Symposium on Marine Accidental Oil Spills, 13–16 July, 2005. – Vigo (Spain), 2005. - P. 122-123.
213. Shulman, G. E. The Biochemical Ecology of Marine Fishes / G. E. Shulman, R. M. Love. – London : Acad. Press, 1999. – 351 p. – (Advances in Marine Biology ; vol. 36).
214. Some ecological consequences of the physiological and biochemical effects of petroleum compounds on marine mollusks / B. L. Bayne, J. Widdows, M. N. Moore, P. Salkeld, C. M. Worrall, P. Donkin, G. M. Dunnet, D. J. Crisp, J. S. Gray // Phil. Trans. R. Soc. Lond. – 1982. – Vol. 297, no. 1087. – P. 219–239.
215. The 1991 Gulf war: coastal and marine environmental consequences / Eds.: A. R. G. Price, J. H. Robinson. – Oxford : Pergamon Press, 1993. – (Mar. Pollut. Bull., Special Iss. ; vol. 27).
216. The field application of cellular and physiological biomarkers, in the mussel *Mytilus edulis*, in conjunction with early life stage bioassays and adult histopathology / J. Wedderburn, I. McFadzen, R. C. Sanger, A. Beesley, C. Heath, M. Hornsby, D. Lowe // Mar. Pollut. Bull. – 2000. – Vol. 40, iss. 3. – P. 257–267.
217. The role of exometabolites isolated from aquatic macrophytes in the activity of oil-oxidizing microorganisms (*Pseudomonas melochiora*) / A. A. Ratushnyak, V. Z. Latypova, M. G. Andreeva, K. I. Abramova, A. Y. Ratushnyak, M. V. Trashin // Fresenius Environ. Bull. – 2009. – Vol. 18, no. 7. – P. 1381–1384.
218. Thompson, G. A. Jr. Methabolism and control of lipid structure modification / G. A. Jr. Thompson // Biochem. Cell. Biol. – 1986. – Vol. 64, no 1. – P. 66–69.

219. Trotsenko, B. G. The Ecological State of the Kerch Strait Waters in Modern Anthropogenic Conditions / B. G. Trotsenko, L. K. Sebakh // 3rd Bi-annual Black Sea Conference and UP-GRADE Black Sea SCENE Project Joint Conference, Odessa, Ukraine, 1–4 November 2011. – Odessa, 2011. – P. 72.
220. Vyas T. K. Effect of crude oil concentrations, temperature and pH on growth and degradation of crude oil by marine bacteria/ T. K. Vyas, B. P. Dave // Indian J. Mar. Sci. – 2007. – Vol. 36, no. 1. – P. 76–85.
221. Widdows, J. Mussels and environmental contaminants: bioaccumulation and physiological aspects / J. Widdows, P. Donkin // The mussel *Mytilus*: ecology, physiology, genetics and aquaculture / Ed. Gosling E. - Amsterdam, 1992. – P. 383–424.
222. Widdows, J. Physiological responses of *Mytilus edulis* during chronic oil exposure and recovery / J. Widdows, P. Donkin, S. V. Evans // Mar. Environ. Res. – 1987. – Vol. 23, iss. 1. – P. 15–32.
223. Wilson, K. G. Laboratory testing protocol for the impact of dispersed petrochemicals on seagrass / K. G. Wilson, P. J. Ralph // Mar. Pollut. Bull. – 2012. – Vol. 64, iss. 11. – P. 2421-2427.
224. Wrabel, M. L. Effects of bioremediation on toxicity and chemical composition of No. 2 Fuel Oil: Growth responses of the brown alga *Fucus vesiculosus* / M. L. Wrabel., P. Peckol // Mar. Pollut. Bull. – 2000. – Vol. 40, iss. 2. – P. 135–139.
225. Youngblood, W. W. Alkanes and alkenes in marine benthic algae / W. W. Youngblood, M. Blumer // Mar. Biol. – 1973. – Vol. 21, iss. 3. – P. 163–172.
226. Zaitsev, Y. An introduction into the Black Sea ecology / Y. Zaitsev. – Odessa : Smil. Ed. Publ. Agency Ltd, 2008. – 229 p.
227. ZoBell, C. E. Marine microorganisms which oxidize petroleum hydrocarbons / C. E. ZoBell, C. Granth, H. Haas // Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull. – 1943. – Vol. 24, no 9. – P. 1175-1193.