

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН

На правах рукописи

САМОХИНА
Лариса Анатольевна

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ
И БЕНЗ(А)ПИРЕНА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
МАКРОЗООБЕНТОСА БЕЛОГО И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ**

Специальность 25.00.28 – океанология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Мурманск
2010

Работа выполнена в Поморском государственном университете им. М.В. Ломоносова и Северном филиале Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича

Научный руководитель: доктор географических наук
Мискевич Игорь Владимирович

Официальные оппоненты: доктор географических наук
Дженюк Сергей Львович
доктор биологических наук
Новоселов Александр Павлович

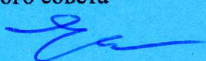
Ведущая организация: Институт экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук

Защита состоится “ 26 ” октября 2010 г. В “ 11 ” ч. на заседании специализированного диссертационного совета Д 002.140.01 при Мурманском морском биологическом институте Кольского научного центра Российской академии наук по адресу: 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН

Автореферат разослан: “ ___ ” сентября 2010 г.

Ученый секретарь
специализированного диссертационного совета
кандидата географических наук



Е.Э. Кириллова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Россия является одной из богатейших стран мира по морским запасам углеводородного сырья в шельфовой зоне Мирового океана. Как правило, области высокой нефтегазоносности морского шельфа совпадают с зонами высокой биопродуктивности и традиционного рыболовства. В ряде случаев хозяйственная деятельность человека приводит к весьма серьезным нарушениям в биотических компонентах водных экосистем. Донные сообщества, состоящие в основном из малоподвижных и прикрепленных форм, представляют собой чувствительную систему, способную отражать изменения в уровнях загрязнения морской среды.

В настоящее время для оценки техногенного воздействия на водные биогеоценозы наибольшее распространение получили методы, основанные на формировании шкал пространственных и временных изменений экосистемных параметров с использованием эколого-токсикологических подходов и приемов оценки экологического риска и опасности (Патин, 1997, 2001). Наиболее сложным вопросом является определение количественных значений допустимых пределов вредных воздействий на морские гидробионты. Подобная оценка крайне необходима для прогнозирования изменчивости донных сообществ морских акваторий, определения возникающего экологического ущерба при интенсификации освоения углеводородных ресурсов, в том числе на стадиях проектирования и оптимизации природоохранной деятельности.

Установлено, что лабораторные эксперименты по выявлению влияния нефти и нефтепродуктов, содержащихся в донных отложениях, на тестовые организмы не могут адекватно отразить сложные процессы, происходящие на реальном, весьма динамичном морском участке на границе 3-х сред: воды, донных отложений и живых гидробионтов. В работах С.А. Патина указывается примерный диапазон концентраций нефтяных углеводородов (НУ), аккумулированных в донных осадках (100-1000 мг/кг), при которых могут наблюдаться необратимые негативные эффекты для гидробионтов (Патин 1997, 2001).

К сожалению официально узаконенных нормативов оценки негативного загрязнения морских донных отложений на территории России до сих пор не существует, что вызывает затруднения достоверного расчета рыбохозяйственного ущерба при аварийных разливах нефти.

Цель и задачи исследования. Цель работы заключалась в изучении воздействия нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена в донных отложениях на количественные характеристики прибрежных бентосных сообществ Белого и юго-восточной части Баренцева морей, определении критических уровней загрязнения

донных отложений рассматриваемыми поллютантами, а также в разработке рекомендаций по проведению природоохранных мероприятий.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать структуру и распределение донных сообществ.
2. Определить влияние абиотических факторов среды на количественные характеристики бентосных сообществ.
3. Оценить воздействие нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена в донных отложениях на общую биомассу и численность сообществ донных животных.
4. Определить допустимые уровни загрязнения донных отложений углеводородами в Баренцевом и Белом морях.
5. Исследовать роль полихет в бентосных сообществах, подверженных техногенному воздействию.
6. Разработать рекомендации по оценке последствий аварийных разливов нефти в отношении донных беспозвоночных и по расчету наносимого рыбохозяйственного ущерба.

Научная новизна и теоретическая значимость работы. Сведения, полученные в ходе исследований, являются определенным вкладом в изучение влияния нефтяных углеводородов на бентосные сообщества прибрежной зоны Белого и юго-восточной части Баренцева морей. Впервые изучено влияние нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена в донных отложениях на количественные характеристики и структуру сообществ макрозообентоса по натурным наблюдениям. Выявлены статистически обоснованные зависимости между содержанием нефтяных углеводородов в донных осадках и общей биомассой макрозообентоса, а также между содержанием бенз(а)пирена и общей биомассой и численностью бентоса. Впервые определена статистически обоснованная оценка допустимых пределов загрязнения донных отложений углеводородами при разработке месторождений нефти и газа на шельфе и в прибрежных районах Белого и Баренцева морей. Разработана новая схема оценки рыбохозяйственного ущерба в результате поражения зообентоса при аварийных разливах по данным химического анализа уровней загрязнения донных отложений. Предложен оптимизированный алгоритм экологического мониторинга для оценки воздействия аварийных разливов нефти на макрозообентос.

Практическая значимость. Получены численные критерии допустимого загрязнения морских донных отложений в отношении макрозообентоса, которые могут использоваться для решения широкого спектра прикладных задач. В число таких задач, в частности, входят оценка воздействия при проектировании промышленных объектов для освоения месторождений углеводородного сырья,

определение рыбохозяйственного ущерба при аварийных разливах нефти и оптимизация экологического мониторинга. Показана возможность биологической рекультивации морских донных отложений, где наблюдается хроническое загрязнение морской среды нефтепродуктами, с помощью червей, взятых с прибрежных участков.

Результаты диссертационной работы использовались при проведении предпроектных работ на Долгинском месторождении нефти на шельфе Печорского моря для ООО «Газфлот» в 2007 г., при проектировании дноуглубительных работ для Беломорской военно-морской базы в порту Северодвинк в 2008 г., для выбора мест дампинга грунта в Двинском заливе Белого моря для ОАО «ПО «Севмаш» в 2009 г.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Наличие негативного воздействия высоких концентраций нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена в донных отложениях на параметры макрозообентоса.

2. Количественные критерии допустимых пределов загрязнения донных отложений углеводородами при разработке месторождений нефти и газа на шельфе и в прибрежных районах Белого и юго-востока Баренцева морей.

3. Наличие относительной устойчивости полихет к высокому нефтяному загрязнению донных отложений.

4. Схема расчета рыбохозяйственного ущерба, наносимого через поражение зообентоса с использованием данных о загрязнении донных отложений.

5. Рекомендации по оптимизации экологического мониторинга последствий аварийных разливов нефти для морского зообентоса.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались на конференциях: VIII молодежной научной конференции Института биологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, 2002), Отчетной сессии Северного отделения ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2001-2002 гг. (Архангельск, 2003), Международной конференции «Теория и практика комплексных исследований в интересах экономики и безопасности российского Севера» (Мурманск, 2005), IV Международной конференции по сохранению местообитаний в Баренцевом регионе (Сыктывкар, 2005), XIII Международной конференции по промысловой океанологии (Калининград, 2005), Отчетной сессии Северного отделения ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2002-2003 гг. (Архангельск, 2005), Отчетной сессии Северного отделения ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2003-2004 г. (Архангельск, 2007), Отчетной сессии Северного филиала ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2004-2005 гг. (Мурманск, 2008), Международной конференции «Рыболовство в условиях

освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа» (Мурманск, 2009), Международной конференции «Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки» (Мурманск, 2010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 2 публикации в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура диссертации. Работа изложена на 178 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы, включающего 180 наименований, в том числе 80 на иностранном языке, приложения, 58 рисунков и 20 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, д.г.н. И.В. Мискевичу за руководство в подготовке настоящей работы, декану кафедры геоэкологии Поморского государственного университета им. М.В. Ломоносова к.г.н. Н.М. Бызовой, сотрудникам филиала ПИНРО М.Ю. Таптыгину, Н.И. Стасенковой, Н.В. Климовскому, В.А. Чугайновой, Е.А. Муравьевой.

Работа выполнена на базе Поморского государственного университета им. М.В. Ломоносова с привлечением результатов исследований СевПИНРО, выполненных автором.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы

В обзоре литературы дана характеристика воздействия нефтяных углеводородов на донных гидробионтов в природных и экспериментальных условиях, рассмотрены особенности адсорбции поллютантов в донных отложениях. Среди большого количества работ, посвященных этой проблеме, особое место занимают монографии А. Нельсона-Смита (1997), О.Г. Миронова (1972, 1992), Г.Г. Матишова (1997), С.А. Патина (1997, 2001). В тоже время, приведенные данные о влиянии нефти на донных животных не охватывают всего разнообразия морской биоты, а результаты экспериментальных исследований часто оказываются несопоставимыми, так как условия их проведения существенно различаются (Миронов, 1992).

Среди факторов внешней среды, оказывающих значительное влияние на характер и последствия интоксикации гидробионтов, важная роль принадлежит температурным условиям. Так, эксперименты на восьми видах арктической фауны (в основном ракообразных) Аляски при температуре 4 – 8 °С показали их более низкую устойчивость к действию углеводородов нафталинового ряда по

сравнению с реакцией тех же видов, обитающих в теплых водах и испытанных в аналогичных условиях, но при температуре 22 °С (Anderson, 1985).

Методы биотестирования донных отложений вошли в практику сравнительно недавно, поэтому вопрос влияния донных осадков, загрязненных нефтяными углеводородами, является ещё мало изученным. Тем не менее, обнаружено летальное действие на бентосные организмы при их концентрации в пределах 1000-7000 мг/кг сухого грунта (Anderson, 1985; Olla et al., 1984). Сублетальные и пороговые эффекты, выраженные в нарушении питания, поведения, физиолого-биохимических функций, а так же патологических изменений в органах и тканях (в том числе канцерогенные образования), возникают обычно в диапазоне концентраций от 100 до 1000 мг/кг сухого грунта (Borowsky et al., 1993; Widbom, Oviatt, 1994; Lotufo, Fleeger, 1995; Laevastu, Fukuhara, 1984; Augenfeld, 1980; Ильницкий и др., 1993).

Аналогичный вывод сделан в работе американских и канадских авторов, обследовавших загрязнение донных осадков некоторых гаваней, портов и бухт на западном побережье Северной Америки (GESAMP, 1991). Из этой работы следует, что уровни содержания полиароматических углеводородов в донных отложениях изменяются в пределах от 1 до 76 мкг/кг сухого грунта. Они прямо коррелируют не только с техногенной нагрузкой на обследованные акватории, но и с частотой возникновения опухолевых новообразований и других симптомов канцерогенных заболеваний донных рыб, обитающих на этих загрязненных грунтах (Патин, 1997).

Видовые и популяционные реакции на нефтяное загрязнение донных осадков проявляются затем на уровне бентосных сообществ, структурные и функциональные характеристики которых, как показано в многочисленных публикациях, существенно нарушаются в условиях хронического нефтяного загрязнения (Law, Blackman, 1981; Armstrong et al., 1979; Moore, 1983; Stebbing, Dethlefsen, 1991; Reiersen et al., 1989). Аналогичные нарушения в бентосе происходят под влиянием нефтесодержащих стоков в районах нефтегазовых промыслов. Отмечено, что нарушения разнообразия в бентосном сообществе начинаются при концентрации нефти в осадках около 60 мг/кг. В тоже время поражение чувствительных видов в биоценозах может начинаться при значительно меньших уровнях нефтяного загрязнения – около 10 мг/кг (Патин, 1997). Выявлено снижение видового разнообразия зообентоса при хроническом загрязнении донных осадков с концентрацией нефтяных углеводородов 25 мг/кг (Reiersen et al., 1989).

Установлено, что фоновые уровни содержания суммарных нефтяных углеводородов в морских донных осадках колеблются в диапазоне 1-10 мг/кг

(Патин, 1997). Некоторые авторы в качестве данного критерия принимают величину 2 мг/кг (Gray, 1988). Изучение отечественной научной литературы показывает, что анализ зависимостей между уровнями загрязнения морских донных отложений и характеристиками зообентоса в природных условиях на количественном уровне практически не проводился. Зарубежные источники указывают очень широкий диапазон изменчивости допустимого содержания углеводородов в донных отложениях, что не позволяет использовать полученных оценки при решении практических задач. Все это еще раз подчеркивает необходимость определения зависимости параметров зообентоса от загрязнения донного субстрата в природных условиях. Эту задачу необходимо решать на региональном уровне, учитывая специфику качественных и количественных характеристик донных беспозвоночных, особенности литодинамики морского грунта, приливов и других океанологических параметров.

Глава 2. Описание объекта исследований

Глава состоит из трёх подразделов. В первом представлена краткая физико-географическая характеристика Белого и Баренцева морей. Рассмотрены их климатические, гидрометеорологические, гидрологические и гидрохимические особенности.

Во втором разделе дано описание уровня загрязнения районов исследований. Содержание растворенных форм тяжелых металлов в водах исследованных акваторий, по данным наблюдений различных организаций, не превышает уровень ПДК. В отличие от нефтяных углеводородов (НУ) и бенз(а)пирена, диапазон изменчивости тяжелых металлов в донных отложениях не выходит за пределы колебаний, характерных для Белого и Баренцева морей. Повышенные концентрации данных загрязнителей эпизодически отмечаются вблизи крупных портов и устьев рек.

Для оценки временной изменчивости содержания загрязняющих веществ в донных осадках рассмотрены колебания содержания суммарной концентрации НУ и бенз(а)пирена в наиболее загрязненных районах: Белое море - юго-западная часть Двинского залива около порта Северодвинск (2004-2006 гг.), юго-восток Баренцева моря - акватория, прилегающая к о. Варандей, в районе Арктического нефтеперегрузочного терминала (2003-2007 гг.). Содержание нефтяных углеводородов в донных отложениях незагрязненных районов Белого моря варьирует в диапазоне 5-25 мг/кг сухого грунта. На акваториях морских портов и в устьях крупных рек оно может повышаться до 100-300 мг/кг сухого грунта и

более. Аналогичная ситуация в целом прослеживается и для бенз(а)пирена, максимальные концентрации которого характерны для районов расположения морских портов и крупных населенных пунктов (10-14 мкг/кг сухого грунта).

Наиболее загрязненным участком юго-восточной части Баренцева моря является акватория, примыкающая к Варандейскому нефтяному терминалу. Содержание НУ в донных отложениях в период наблюдений было сравнительно низким (0,01-10,05 мг/кг сухого грунта) при зафиксированном максимуме в 100 мг/кг. Содержание бенз(а)пирена в донных отложениях не превышало 0,013 мг/кг, что типично для малозагрязненных современных осадков (Ровинский и др., 1988, Yunker et al., 1993, Venkatesan, 1982, 1987).

В третьем разделе приведена краткая характеристика планктонных сообществ и ихтиофауны, более детально рассмотрены сообщества зообентоса. Пространственное распределение донных животных прибрежных районов имеет свои особенности, обусловленные наличием речного стока, меняющим химический состав, температуру и соленость вод. Как правило, вдоль градиента солености наблюдаются изменения видовой структуры бентофауны, которые, в свою очередь, приводят к изменениям распределения биомассы и численности донных животных в данных зонах (Денисенко 2009, Лисицын А. П., Хлебович, 1986). В связи с этим были проанализированы связи между количественными характеристиками зообентоса, а также соленостью и температурой придонного слоя воды на акватории Белого моря, прилегающей к порту Северодвинск. Достоверные в статистическом отношении зависимости между количественными характеристиками зообентоса и вышеперечисленными факторами среды не выявлены. Корреляционные коэффициенты не превышали величину 0,3. Изменения биомассы и численности в обследованных районах характеризуются двумя пиками, приуроченными к глубинам 10-12 м и 20-24 м, что соответствует переходным зонам.

На акватории Двинского залива Белого моря, прилегающей к порту Северодвинск, обнаружено четыре донных сообщества, в которых доминируют двустворчатые моллюски: *Serripes groenlandicus*, *Yoldia hyperborean*, *Cyprina islandica*, *Macoma calcarea*. Здесь особенностью является наличие крупных форм полихет (*Nephtys longosetosa*, *Nereis virens*, *Pectinaria hyperborea*), которые в локальных зонах вносят существенный вклад в общую биомассу зообентоса. В целом на обследованной акватории по биомассе доминируют двустворчатые моллюски, по численности – полихеты. Средние показатели плотности распределения составили 989 экз./м², биомассы – 54,5 г/м². В трофической структуре сообществ доминирующая роль принадлежит детритофагам-

собирателям, исключение составляют сообщества расположенные на мягких грунтах с включениями ракуши, где преобладают сестонофаги-фильтраторы.

В районе Печорского моря, на акватории Варандейского нефтяного терминала, обнаружено пять бентосных сообществ. В прибрежной зоне на глубине 15 м обнаружено сообщество *Diastylis rathkei*, которое характеризуется минимальными показателями видового разнообразия (6 таксонов), биомассы (0,74 г/м²) и численности (67 экз./м²). По мере удаления от берега, наблюдается увеличение видового разнообразия (17 таксонов). Доминирует асцидия *Pelonaia corrugate*, по плотности распределения преобладают полихеты. В целом рассмотренная акватория юго-востока Баренцева моря характеризуется большим видовым разнообразием, доминированием на большей ее части моллюсков *Astarte borealis*, *Serripes groenlandicus* и *Ciliatocardium ciliatum*, мозаичным типом распределение донных животных, а также тенденцией увеличения количественных характеристик бентоса по мере возрастания глубин. Участки с максимальной биомассой бентоса не соответствуют участкам с наибольшей плотностью распределения донных организмов, т.к. основу биомассы бентоса составляют двустворчатые моллюски, а плотности распределения – полихеты. В трофической структуре на большей части акватории отмечено преобладание преобладают сестонофаги-фильтраторы. На локальных участках доминируют детритофаги. Средние показатели плотности распределения бентоса по всей акватории полигона составили 3916 экз./м², биомассы - 239,6 г/м².

Для решения рассматриваемой проблемы крайне важно знать порядок минимальных биомасс донных беспозвоночных, характерных для участков с наличием неблагоприятных абиотических условий, но при отсутствии хорошо выраженного техногенного воздействия. К таким условиям, в первую очередь, необходимо отнести значительную мелководность, доступность сильному ветровому волнению, большие колебания солености и ледовую эрозию. В июле 2002 года было исследован участок литорали устьевого взморья реки Онеги, для которого характерны подобные условия. Виды, обнаруженные здесь, являются типичными представителями литорали, обитающие на илисто-песчаных грунтах и способные выносить значительное опреснение. Всего в сообществе обнаружено 7 таксонов. Увеличение биомассы бентоса происходит в северо-восточном направлении, что связано с появлением эвригалинных видов (*Mytilus edulis*, *Tunicata sp.*, *Gammarus locusta*) и увеличением размеров моллюсков. Наиболее опресняемая зона участка характеризуется минимальными показателями биомассы (11,6 г/м²) и максимальными значениями плотности (4812,5 экз./м²), что объясняется присутствием здесь большого числа мелких полихет и малыми размерами моллюска *Macoma baltica*. Средние значения биомассы и численности

для всего участка составили $94,3 \text{ г/м}^2$ и $828,5 \text{ экз./м}^2$, соответственно. Анализ видовой структуры, при котором учитываются как биомасса, так и численность бентоса показал, что кумулятивная кривая накопленной биомассы опережает кривую накопленной численности. Это характерно для сообществ, находящихся в устойчивом состоянии.

Анализ результатов наблюдений автора на вышерассмотренном участке Онежского залива позволяет принять в качестве минимальной биомассы величину равную, 1 г/ м^2 . Наличие более низких биомасс морского зообентоса значительно повышает вероятность фиксации на исследуемом участке воздействия техногенных факторов. Это подтверждается исследованиями бентосных сообществ зоны устьевого взморья р. Онеги с ярко выраженным техногенным воздействием сточных вод гидролизного завода, на которых были выявлены участки, где донные животные отсутствовали.

На участках прибрежной зоны юго-востока Баренцева моря без наличия техногенного влияния могут встречаться биомассы макрозообентоса ниже 1 г/ м^2 , что, в первую очередь, можно объяснить наличием более высоких ветровых волн и суровых ледовых условий. Такие низкие величины приурочены к песчаным грунтам крупной зернистости, находящимся под влиянием сильного ветрового волнения. Подобные грунты имеют низкую адсорбционную способность по накоплению нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена. На мелководных участках юго-востока Баренцева моря, защищенных от сильного ветрового волнения и значительных подвижек льда, а также на глубинах ниже границы воздействия ветрового волнения в любых его районах, биомасса макрозообентоса, как правило, на 1-3 порядка превышает уровень, равный 1 г/м^2 . Учитывая этот факт, указанную величину можно рассматривать как критерий для оценки наличия негативного влияния техногенных процессов на биомассу донных беспозвоночных, как Белого, так и юго-востока Баренцева моря.

Специфика природных условий прибрежной зоны формирует высокое биоразнообразие донных сообществ, в составе которых преобладают виды, приспособленные к требованиям, предъявляемым средой. На различных участках одного и того же локального района моря могут доминировать экологические группировки зообентоса разного типа. В данной ситуации, при оценке влияния уровней загрязненности морского грунта на донных беспозвоночных, целесообразно в первую очередь учитывать такие интегральные показатели, как общая биомасса и численность зообентоса, а не ограничиваться определением видов-индикаторов антропогенного воздействия на донных беспозвоночных.

Глава 3. Материалы и методика исследований

В данной главе рассмотрены материалы и методики, использованные в диссертационной работе. Материалом для исследований послужили сборы проб макрозообентоса (715 проб) и донных отложений (217 проб на содержание нефтяных углеводородов, 130 проб на содержание бенз(а)пирена) в Белом и юго-восточной части Баренцева морях в период с 2000 по 2007 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Материал, использованный в исследованиях

Район исследований	Количество проб бентоса	Район исследований	Количество проб бентоса
Белое море:		Баренцево море:	
Двинский залив	216	г. Индига	24
Онежский залив	127	Печорское море	324
Кандалакшский залив	24		
Итого	367		348
Всего	715		

Автором собрано и обработано 553 пробы бентоса, а также собрано 159 и 104 проб донных отложений на содержание нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена, соответственно. Отбор проб проводился с помощью научно-исследовательских судов СевПИПРО «Поиск» и «Протей». Также были привлечены данные, полученные в 1999 г. на акватории Двинского залива Белого моря. Районами исследований явились прибрежные зоны Белого (Двинский, Онежский, Кандалакшский заливы) и Баренцева (губа Индига, Печорское море) морей (рис. 1).

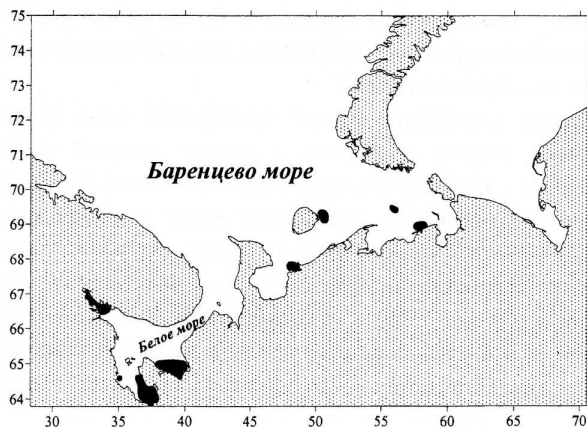


Рис. 1. Районы исследования

В главе описаны методики отбора и анализа проб зообентоса, а также методики определения суммарного содержания нефтяных углеводородов (ПНД Ф 16.1:21-98) и бенз(а)пирена (ПНФ Ф 16.1:2:2:3.39-03) в донных отложениях.

Для определения связей и зависимостей между количественными характеристиками макрозообентоса и загрязнением донных отложений применялись стандартные статистические процедуры, записанные в компьютерной программе *Excel*. Для определения необходимых зависимостей в поле корреляционных точек сложной конфигурации выделялась внешняя граница этого поля в системе координат X и Y с использованием одномерного регрессионного уравнения

$$Y = k_1 X + k_0 \pm \varepsilon_{95}, \quad (1)$$

в котором k_1 и k_0 - эмпирические константы; ε_{95} - погрешность расчетов.

Подобный подход учитывает фундаментальную закономерность возрастающего влияния на элемент экосистемы антропогенного фактора по мере его усиления. Она находит свое выражение в тенденции к одновременному снижению параметра Y и дисперсии регрессионных остатков по мере возрастания параметра X , что придает корреляционному полю форму «треугольника».

Для нелинейных связей такой «треугольник» получается после их предварительной линеаризации, например, через логарифмирование X или Y . Коэффициент корреляции для «треугольника» бывает, как правило, очень низким, формально указывая на отсутствие значимой в статистическом отношении связи. С другой стороны, наличие внешней четко очерченной границы корреляционного поля указывает на присутствие определенной закономерности, которую можно найти с помощью регрессионного анализа. Такая закономерность для связи «воздействие-отклик» будет указывать на предельно-возможное влияние антропогенного фактора X на экологический параметр Y . Практическое применение подобного подхода продемонстрировано на конкретном материале в главе 4 диссертации.

Глава 4. Определение уровня допустимого воздействия нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена в донных осадках на количественные характеристики бентосных сообществ

4.1. Определение уровня допустимого воздействия нефтяных углеводородов на макрозообентос

Ранее нами уже была сделана попытка оценить необходимую лимитирующую величину загрязнения донных отложений на основании

визуального анализа связей содержания НУ в донных отложениях и численных характеристик зообентоса по натурным наблюдениям. Они проводились в период 1999 и 2003-2005 гг. в кутовой части Двинского залива на акватории, прилегающей к порту Северодвинску, а также в районе расположения Арктического погрузочного нефтяного терминала в Печорском море около поселка Варандей (Мискевич, Телицина, 2002). Рассматриваемая акватория Двинского залива подвергается более длительному воздействию загрязнения углеводородами, чем зона нефтяного терминала в Печорском море.

Анализ связи параметров зообентоса с содержанием в донных отложениях нефтяных углеводородов показал, что в диапазоне от нуля до предлагаемой лимитирующей концентрации (120 мг/кг сух. грунта) не наблюдается явного увеличения общей биомассы по мере уменьшения степени загрязненности морского грунта. В качестве экологически толерантного порога было предложено использовать концентрацию в 120 мг/кг (Мискевич, Телицина, 2002), укладываемую в диапазон, указанный в монографии (Патин, 1997). Однако, отсутствие математического (расчетного) обоснования подобного норматива делает его весьма уязвимым для критики. В связи с этим был проведен статистический анализ наблюдений СевПИПРО по данным мониторинговых и специализированных экологических исследований Белого и юго-востока Баренцева морей (2000-2007 гг.). Также использовался материал наблюдений в Двинском заливе Белого моря, полученный в 1999 г.. В качестве индикатора техногенного воздействия была выбрана биомасса зообентоса, для которой существует отработанный алгоритм определения рыбохозяйственного ущерба через потери кормовой базы рыб. Через этот показатель также можно оценить прямой ущерб, возникающий при гибели промысловых видов донных беспозвоночных.

Содержание НУ в донных отложениях акватории, прилегающей к порту Северодвинску, варьировало от 0 до 770 мг/кг сух. грунта, что на порядок выше, чем на акватории около Варандейского терминала (3-70 мг/кг сух. грунта). Средние значения составили соответственно 153 мг/кг сух. грунта и 15 мг/кг сух. грунта. Биомасса бентоса на акватории около терминала составила 142 г/м², плотность поселения – 4670 экз./м². В кутовой части Двинского залива эти значения были существенно ниже и составили соответственно 45 г/м² и 2212 экз./м². Исследуя структуру бентосных сообществ данных участков, можно отметить, что в обоих случаях их основу составляют представители класса *Bivalvia* и *Polychaeta*.

Сравнительный анализ полученных данных для фоновых (участки с низким содержанием НУ) и контрольных станций (участки с высоким содержанием НУ) в

юго-западной части Двинского залива показал, что в зонах с более высоким уровнем загрязнения грунта показатели общей биомассы и численности донных организмов ниже, чем на фоновых. При этом годовые колебания количественных характеристик бентоса имели одинаковый характер, что указывает на доминирующее влияние природных факторов с ярко выраженной междугодовой изменчивостью (рис. 2).

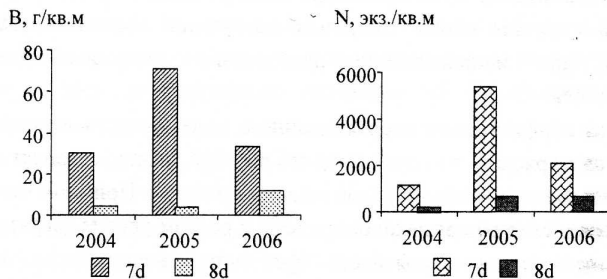


Рис. 2. Межгодовая изменчивость биомассы (B) и численности (N) зообентоса на фоновой (7d) и контрольных (8d) станциях

4.1.1. Определение уровня допустимого воздействия нефтяных углеводородов на общую биомассу макрозообентоса. Из анализа графика связи первичных данных по содержанию нефтяных углеводородов в донных отложениях и биомассы зообентоса вытекает, что конфигурация поля корреляционных точек не позволяет для нахождения какой-либо зависимости воспользоваться стандартным методом наименьших квадратов (рис. 3). В частности, не соблюдается условие стационарности дисперсии корреляционных точек.

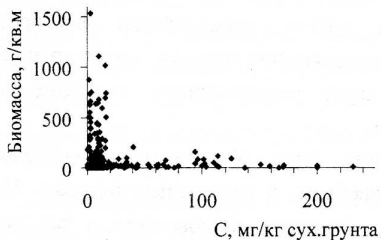


Рис. 3. Связь между биомассой зообентоса и содержанием нефтяных углеводородов в донных отложениях

В данной ситуации, учитывая необходимость учета только негативных эффектов для зообентоса, можно воспользоваться исследованием характера

изменений лишь верхней границы корреляционного поля, которая по визуальным признакам имеет четко выраженную зависимость.

Для реализации такого подхода шкала изменений концентраций НУ была разделена на интервалы, равные 10 мг/кг. Выбор шага в 10 мг/кг продиктован тем, что величины меньше этого значения обычно характерны для чистых (фоновых) участков морских акваторий. Связь между исследуемыми параметрами была предварительно подвергнута процедуре линеаризации через логарифмирование одного параметра или обоих. Визуально наилучший эффект в этом отношении наблюдался при использовании десятичного логарифма для биомассы макрозообентоса.

Анализ конфигурации корреляционного поля, представленного на рисунке 3, позволяет утверждать, что очертания его верхней границы зависят от изменений содержания нефтяных углеводородов в донных осадках. При этом четко визуально прослеживается следующая закономерность: с ростом уровня загрязнения донных отложений снижается вероятность фиксации значительных концентраций биомассы донных беспозвоночных. В области высоких концентраций нефтяных углеводородов наблюдается минимальная биомасса зообентоса, которая на 1-2 порядка меньше её максимальных значений, соответствующих интервалу низкого загрязнения донных отложений.

Наибольшая изменчивость биомассы, как видно из рисунка 3, наблюдается в области минимальных значений нефтяных углеводородов. Это указывает на очень слабое влияние данного лимитирующего фактора (при сходных условиях) на жизнедеятельность бентофауны. Как показали исследования, корреляционные точки, связанные с очень низкими значениями биомассы, соответствуют мелководным участкам прибрежной зоны с наличием негативного воздействия ветрового волнения и литодинамических процессов. Грунты на подобных участках обычно представлены крупнозернистыми песками, а подводный рельеф меняется каждый раз после прохождения сильных штормов.

В диссертации показано, что для других абиотических факторов (температура воды, соленость, глубина) корреляционное поле не имеет границ, которые можно количественно отразить через регрессионное уравнение с наличием высокого коэффициента корреляции.

Затем для корреляционного поля точек были сформированы выборки величин, попадающие в вышеуказанные интервалы, в следующем порядке. На первом шаге бралось только максимальное значение, попадающее в каждый интервал, затем 2 наибольших значения и т.д. Выбор был ограничен 5 значениями, т.к. при дальнейшем их увеличении начинали нарушаться требования, выдвигаемые к использованию стандартного метода наименьших квадратов

(МНК). Следует отметить, что, расширение диапазона анализируемых корреляционных точек усиливает влияние других факторов, которые «демаскируют» связь между концентрацией НУ.

Далее были определены коэффициенты корреляции. Применялись значения концентраций НУ, соответствующие серединам используемых интервалов. Наибольшая корреляция отмечалась при применении для биомассы зообентоса десятичных логарифмов, что дало основание для выбора данной формы устранения нелинейности исследуемой связи. Затем были определены регрессионные уравнения для расчета биомассы зообентоса по концентрациям НУ с выделением границ доверительного интервала 95 % обеспеченности по уравнению

$$\lg B = aC + \epsilon \pm \epsilon_{0,95} \quad (2)$$

в котором B – биомасса зообентоса в г/м^2 ; C – концентрация нефтяных углеводов в донных отложениях (мг/кг); a и ϵ – эмпирические параметры; $\epsilon_{0,95}$ – среднеквадратическая ошибка расчетов 95 % обеспеченности, определяемая по формуле

$$\epsilon_{0,95} = \sigma_B t_{St} (1-R^2)^{0,5}, \quad (3)$$

в которой σ_B – среднеквадратическое отклонение для логарифмов значений биомассы; t_{St} – значение критерия Стьюдента; R – коэффициент линейной корреляции.

В качестве критерия допустимого воздействия целесообразно взять точку пересечения регрессионной линии с осью, изменений параметра C . Тогда имеем, что $\lg B = 0$, а $B = 1 \text{ г/м}^2$. Значение биомассы 1 г/м^2 , как показали исследования, вполне обосновано для Белого и юго-востока Баренцева морей, поскольку даже при неблагоприятных условиях развития бентосных сообществ прибрежной зоны исследуемых морей биомасса макрозообентоса, как правило, превышает выбранный нами показатель. Таким образом, это значение биомассы, целесообразно использовать в качестве экологически толерантного порога (ЭТП) Данный метод заключается в определении пороговых значений на основе естественных колебаний воздействующих факторов среды или параметров, присущих экологическому объекту, с помощью анализа распределений вероятностей (Шитиков и др., 2005).

В таблице 2 приведен диапазон расчетных величин ЭТП с учетом погрешности вычислений по регрессионным уравнениям. Наблюдается тенденция к уменьшению ЭТП с увеличением числа анализируемых данных. При выборе необходимого значения следует учитывать, что в морских гидрологических прогнозах, имеющих многолетнюю историю прикладного использования, ведение

практических расчетов по регрессионным уравнениям допускается при R более 0,6. Тогда выбор сужается до первой пары уравнений в таблице 2. Ориентируясь на общепринятый в экологии учет наиболее жестких норм, получаем, что при решении практических задач следует выбрать нижний доверительный интервал, рассчитываемый по первому уравнению в таблице 2.

Таблица 2

Изменчивость лимитирующих концентраций нефтяных углеводородов в донных отложениях для биомассы зообентоса с учетом доверительным интервалов

N п/п	Уравнение регрессии	Значения C при $lgB=0$		
		$C_{макс}$	$C_{ср}$	$C_{мин}$
1	$lgB = -0,010C + 2,61 \pm 1,0$	375,4	268,6	161,9
2	$lgB = -0,008C + 2,38 \pm 1,1$	434,5	297,8	161,0
3	$lgB = -0,008C + 2,30 \pm 1,3$	426,1	270,7	115,3
4	$lgB = -0,008C + 2,26 \pm 1,3$	418,7	266,2	113,8
5	$lgB = -0,008C + 2,22 \pm 1,3$	421,8	264,5	107,2
	$lgB = -0,008C + 2,19 \pm 1,4$	419,0	258,2	97,3

Это уравнение показано на рисунке 4. Оно, кстати, имеет и наиболее высокий коэффициент корреляции. Таким образом, результаты статистических исследований связей содержания нефтяных углеводородов в донных отложениях и биомасс зообентоса в северных морях позволяют предложить в качестве нормативной концентрации (ЭТП) величину, равную 161 мг/кг. Отметим, что она укладывается в диапазон, выделенный С.А. Патиным (Патин, 1997, 2001).

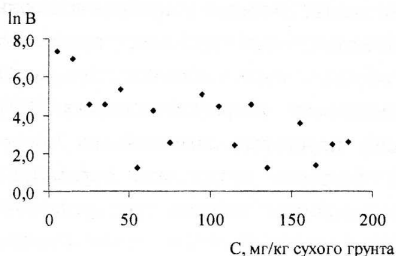


Рис. 4. Зависимость между биомассой зообентоса и содержанием нефтяных углеводородов в донных отложениях, использованная для определения ЭТП

Полученную величину ЭТП рекомендуется применять для оценки рыбохозяйственного ущерба на стадиях предпроектных и проектных работ при математическом моделировании распространения аварийной нефти на морских акваториях и ее оседании на морское дно. Зная площадь морского дна,

ограниченного изолинией величины ЭТП, несложно рассчитать ущерб по кормовой базе рыб и по промысловым видам донных беспозвоночных.

4.1.2. Определение уровня допустимого воздействия нефтяных углеводородов на общую численность макрозообентоса. Определение допустимого уровня воздействия нефтяных углеводородов на плотность распределения донных животных было выполнено по той же схеме, что и для биомассы бентоса. Проведенный анализ графика связи первичных данных по общей численности макрозообентоса с содержанием нефтяных углеводородов в донных осадках выявил наличие гораздо более слабой зависимости между этими показателями (рис. 5).

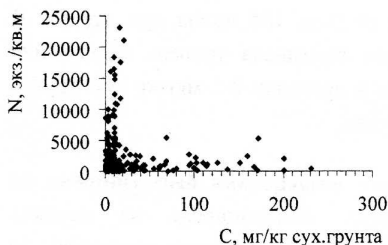


Рис. 5. Связь между численностью зообентоса и содержанием нефтяных углеводородов в донных отложениях

Аналогично были произведены расчеты для плотности распределения донных животных. Коэффициент корреляции был сравнительно невысоким и варьировал в пределах от 0,43 до 0,50, что не позволило определить ЭТП для данной выборки на статистически обоснованном уровне. Однако, полученные зависимости на качественном уровне подтверждают наличие тенденции к снижению численности донных беспозвоночных при увеличении уровня загрязнения морских донных отложений нефтяными углеводородами.

Различия в тесноте связей между концентрациями нефтяных углеводородов и исследуемыми параметрами зообентоса можно связать с наличием устойчивости некоторых видов донных беспозвоночных к сильному загрязнению морского грунта при одновременном замедлении набора ими биомассы по мере увеличения возраста.

4.2. Определение уровня допустимого воздействия бенз(а)пирена на макрозообентос

Среди ПАУ особое внимание уделяется бенз(а)пирену, обладающему канцерогенными свойствами и имеющему в основном техногенное

происхождение. Фоновые уровни содержания данного токсиканта в грунте на морских акваториях, удаленных от источников загрязнения, составляют величины порядка 0,01-10 мкг/кг сухого грунта (Laane, 1992). Схожие концентрации приводятся рядом авторов, которые отмечают тенденцию сильного нарастания уровней ПАУ до 100 мг/кг и бенз(а)пирена до 8 мг/кг в зонах, подверженных длительному воздействию промышленных стоков (Law, 1986; Ильницкий, Королев, Худoley, 1993; ICES, 1994). В этих же районах наблюдаются четкие эффекты нарушения жизнедеятельности донных организмов, а также структурные и функциональные перестройки бентосных сообществ, что заслуживает особой оценки в связи с оценкой экологической ситуации в районах интенсивной разработки нефтегазовых месторождений.

Содержание бенз(а)пирена в донных отложениях акватории, прилегающей к порту Северодвинску, колеблется в пределах от 0 до 184 мкг/кг сух. грунта. В районе Печорского моря около Варандейского терминала уровень загрязнения донных отложений бенз(а)пиреном колеблется в пределах 0-5 мкг/кг сух. грунта при среднем значении, равном 1 мкг/кг сух. грунта.

4.2.1. Определение уровня допустимого воздействия бенз(а)пирена на общую биомассу макрозообентоса. Влияние бенз(а)пирена на морских гидробионтов Белого и юго-востока Баренцева морей, включая зообентос, до настоящего времени остается малоисследованным, при возрастании числа источников его поступления в морскую среду в результате интенсификации освоения месторождений углеводородного сырья. Следует отметить, что в монографии Патина С.А. (Патин, 1997) имеется ссылка на норматив для содержания бенз(а)пирена в донных отложениях (20 мкг/кг) без указания на использованный литературный источник. Как показали исследования, в Белом и Печорском морях концентрации рассматриваемого токсиканта в донных отложениях могут превышать указанную величину.

Определение уровня допустимого воздействия бенз(а)пирена на общую биомассу макрозообентоса проводилось по тому же алгоритму, что и для суммарного содержания нефтяных углеводородов. В таблице 3 приведен диапазон расчетных величин ЭТП для концентраций бенз(а)пирена с учетом погрешности вычислений по регрессионным уравнениям.

Наблюдается тенденция к уменьшению ЭТП с увеличением числа анализируемых данных. Получаем, что при решении практических задач следует выбрать нижний доверительный интервал, рассчитываемый по четвертому уравнению в таблице 3. Это уравнение показано на рисунке 6.

Таблица 3

Изменчивость лимитирующих концентраций бенз(а)пирена в донных отложениях для биомассы зообентоса с учетом доверительных интервалов

N п/п	Уравнение регрессии	Значения C при $lgB=0$		
		C_{\max}	$C_{\text{ср}}$	C_{\min}
1	$lgB = -0,076C + 2,63 \pm 0,8$	45,2	34,6	24,0
2	$lgB = -0,075C + 2,51 \pm 1,8$	44,2	33,5	23,0
3	$lgB = -0,073C + 2,43 \pm 0,88$	44,8	33,4	22,0
4	$lgB = -0,071C + 2,36 \pm 1,9$	45,6	33,3	21,1
5	$lgB = -0,07C + 2,26 \pm 1,0$	47,8	33,3	19,0
6	$lgB = -0,065C + 2,16 \pm 1,2$	50,3	33,0	16,0

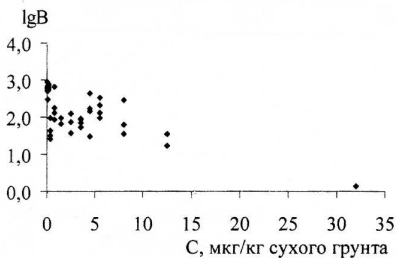


Рис. 6. Зависимость между биомассой макрозообентоса и содержанием бенз(а)пирена в донных отложениях для определения ЭТП

Результаты статистических исследований оценок содержания бенз(а)пирена в донных отложениях и биомасс зообентоса северных морей позволяют предложить в качестве нормативной концентрации (ЭТП) величину, равную 21 мкг/кг.

4.2.2. Определение уровня допустимого воздействия бенз(а)пирена на общую численность макрозообентос. Статистические исследования связей общей численности донных животных и содержания бенз(а)пирена в морском грунте в данном случае выявили величину ЭТП (74,3 мкг/кг) значительно большую, чем по биомассе (табл. 4, рис. 7). Это объясняется высокой степенью устойчивости к загрязнению бенз(а)пиреном и ПАУ в целом некоторых видов моллюсков и особенно полихет, отдельные виды которых могут служить индикатором критических уровней нефтяного загрязнения.

Согласно общепринятому в экологическом нормировании подходу, при выборе лимитирующих концентраций необходимо ориентироваться на наиболее жесткие критерии. Таким образом для ЭТП при оценке воздействия бенз(а)пирена

на донных беспозвоночных необходимо учитывать их возможные потери биомассы, а не численности.

Таблица 4

Изменчивость лимитирующих концентраций бенз(а)пирена в донных отложениях для численности зообентоса с учетом доверительных интервалов

N п/п	Уравнение регрессии	Значения C при $lgN=0$		
		$C_{макс}$	$C_{ср}$	$C_{мин}$
1	$lgN = -0,043C + 3,80 \pm 0,6$	102,9	88,7	74,6
2	$lgN = -0,042C + 3,69 \pm 0,6$	101,9	88,1	74,3
3	$lgN = -0,042C + 3,60 \pm 0,6$	101,0	85,9	70,8
4	$lgN = -0,040C + 3,53 \pm 0,6$	103,3	87,2	71,1
5	$lgN = -0,039C + 3,46 \pm 0,7$	105,5	88,1	70,7
6	$lgN = -0,037C + 3,38 \pm 0,7$	110,9	91,0	71,0

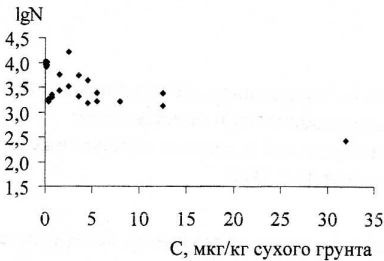


Рис. 7. Зависимость между численностью зообентоса и содержанием бенз(а)пирена в донных отложениях, использованная для определения ЭТП

4.3. Роль полихет в бентосных сообществах, подверженных техногенному воздействию

В результате исследований была выявлена тенденция увеличения доли кольчатых червей в общей биомассе и плотности распределения макрозообентоса с ростом уровня загрязнения донных осадков нефтяными углеводородами. Как показали исследования, кольчатые черви родов *Nereis* и *Nephtys* достаточно хорошо развиваются в районах с высокой антропогенной нагрузкой. На отдельных участках таких акваторий они, как правило, доминируют не только по плотности распределения, но и по биомассе. На акватории, прилегающей к порту Северодвинску, обнаружены участки, которые относятся ко второй зоне по уровню загрязнения НУ, где наблюдается уменьшение биомассы макрозообентоса с увеличением уровня загрязнения. Но вместе с тем обнаружены зоны с относительно высокой биомассой донных животных. Двум участкам с максимальными концентрациями НУ в кутовой части Двинского залива

соответствовали высокие показатели биомассы бентоса, что объяснялось наличием здесь полихет *Nereis virens* и *Nephtys ciliate*, которые, вероятно, менее чувствительны к нефтяному загрязнению. Эти данные подтверждаются лабораторными исследованиями, выявившими способность *Nereis diversicolor*, которые обитают в Черном море, к преобразованию нефти в грунте (Георга-Копулос, Алемов, 1990), а также натурными наблюдениями (Gomez Gesteira J.L., Davuvin J., 2000).

Проведенные расчеты для общей биомассы и численности макрозообентоса, где исключен класс *Polychaeta*, показали, что значение ЭТП в данной ситуации для биомассы зообентоса, при наличии статистически обоснованной оценки, составил 103 мг/кг сухого грунта. Это несколько ниже аналогичного показателя, полученного для общей биомассы зообентоса (161 мг/кг сухого грунта). Однако, на наш взгляд, более целесообразным будет использование концентрации для общей биомассы, т.е. 161 мг/кг. Она получена для уравнения с более высоким коэффициентом корреляции, другими словами, более обоснована в статистическом отношении. Кроме того, кольчатые черви представляют, в большинстве случаев, легкодоступный и массовый корм для рыб-бентофагов и игнорирование их биомассы может привести к некорректной оценке потерь кормовой базы за счет техногенного воздействия.

Полученный в результате статистического анализа связей общей численности донных животных (без класса *Polychaeta*) и содержанием НУ в морском грунте показатель ЭТП составил 191,3 мг/кг сух. грунта. Необходимо отметить, что аналогичный показатель для общей численности, где кольчатые черви входят в её состав, не был получен. Указанная величина меньше соответствующего критерия для общей биомассы зообентоса, поэтому может не учитываться при выборе ЭТП для нефтяных углеводородов.

По результатам анализа связей содержания бенз(а)пирена в донных осадках и количественных характеристик зообентоса (при исключении влияния кольчатых червей) выявлено, что величины ЭТП для биомассы в данном случае составляет 21 мкг/кг сух. грунта. Следует отметить, что для общей численности ЭТП составляет 87 мкг/кг сухого грунта, но эта величина с формальной точки зрения статистики не обоснована. Таким образом, получаем, что для биомассы зообентоса с наличием и отсутствием полихет величина ЭТП (21 мкг/кг) не меняется. Связь между загрязнением донных отложений бенз(а)пиреном и численностью зообентоса без полихет проявляется сравнительно слабо.

Глава 5. Рекомендации по практическому использованию полученных результатов при оценке рыбохозяйственного ущерба на Белом и Баренцевом морях

Известно, что потери кормовых гидробионтов и расчёт рыбохозяйственного ущерба определяются в зависимости от масштаба воздействия. Используя ЭТП, можно более точно определить пространственный масштаб критического воздействия на зообентос высоких уровней загрязнения донных отложений. Определяется площадь морского дна по модельным расчетам или по данным натурных исследований, где будет наблюдаться острое токсическое воздействие на донных беспозвоночных. Далее, по официально действующим методикам расчета рыбохозяйственного ущерба (Временная методика..., 1989), несложно определить потери рыбопродукции через гибель кормовых организмов, или потери продукции через гибель промысловых представителей донных беспозвоночных. Ущерб от гибели кормовых организмов (зообентоса) с пересчетом потери по ихтиопродукции рассчитывается по формуле (1):

$$M_k = N_0 \times P / B \times 1 / K_2 \times K_3 / 100 \times F \times 10^{-6} \quad , \quad (1)$$

где

M_k - рыбопродукция, эквивалентная кормовым организмам, т;

N_0 - средняя концентрация кормовых донных организмов, г/м²;

P/B - коэффициент перевода биомассы кормовых организмов в кормовую продукцию кормовых организмов (K_1);

K_2 - кормовой коэффициент для перевода продукции кормовых организмов в рыбопродукцию;

K_3 - показатель предельно возможного использования кормовой базы, %;

F - зона поражения кормовых организмов, м²;

10^{-6} - множитель для перевода граммов в тонны.

Коэффициент перевода биомассы в продукцию кормовых организмов (P/B) для зообентоса акваторий Белого и Баренцева моря обычно составляет 4,0. Коэффициент перевода продукции зообентоса в рыбопродукцию (K_2) равен 20. Показатель предельно возможного использования рыбами кормовой базы (K_3) по зообентосу составляет 50 %.

По формуле (1) определяется общий объем потерь по водным биоресурсам на исследуемой акватории. В натуральном выражении потери рыбной продукции выражаются в недоиспользовании рыбой зообентоса, в том числе питающегося фитопланктоном или поедающего его отмершие части, осевшие на дно. Учитывая

отсутствие на текущий момент обоснованного алгоритма по определению рыбохозяйственного ущерба через загрязнение донных отложений, полученные цифры будут более достоверными. Это, в свою очередь, позволит оптимизировать работы по предотвращению или устранению отрицательных последствий на биоту, а также рационально использовать расходы на их проведение.

Далее, зная величину M_k можно оценить экономические потери рыбного хозяйства в соответствии с положениями методики (Временная методика..., 1989) в части определения объема капитальных вложений (К), необходимых для осуществления мероприятий по сохранению и воспроизводству рыбных запасов на стадии проектирования того или иного народнохозяйственного объекта.

Другим положительным моментом использования ЭТП является оптимизация и сокращение финансовых средств на проведение мониторинговых работ за счет значительного снижения количества отбираемых проб макрозообентоса, которые являются достаточно трудоемкими и дорогостоящими, с одновременным увеличением количества проб донных отложений на содержание загрязняющих веществ. Здесь необходимо учитывать, что на проведение анализа характеристик зообентоса требуется на 1-2 порядка больше времени, чем на химический анализ пробы грунта, что резко повышает оперативность получения необходимой информации. Кроме этого, если гидробиологические исследования требуют привлечения специалиста высокой квалификации и узкого профиля, то химический анализ грунта является рутинной операцией, которую успешно может выполнить любой лаборант. Таким образом, для изучения последствий аварийного разлива нефти, анализ загрязнения донных отложений позволяет оперативно, без привлечения квалифицированных специалистов-гидробиологов, оценить пространственные масштабы зон критического поражения сообществ донных беспозвоночных и соответствующие потери рыбопродукции.

Важным аспектом решения многочисленных экологических проблем современной цивилизации является утилизация отходов производства и потребления. К сожалению, методы очистки донных отложений на морских акваториях развиты крайне слабо из-за большой сложности практической реализации данного мероприятия. С другой стороны, для почв суши эта проблема успешно решается методом вермиккультуры с использованием червей, которые способствуют снижению загрязнения субстратов (Оборин, 1988; Булатов, 1997).

Как показали многочисленные исследования, морские черви также устойчивы к высоким уровням загрязнения и способны перерабатывать повышенные концентрации нефтяных углеводородов, содержащихся в донных осадках. По нашему мнению, данную способность полихет вполне можно использовать для очистки донных отложений. В первом приближении, можно

рекомендовать отбор илистых отложений с высокой плотностью адаптированных к негативному воздействию углеводородов морских червей из районов, где наблюдается повышенное загрязнение морской среды. Далее такой грунт диффузно разбрасывается на участках со сверхнормативным загрязнением донных отложений и производится последующий мониторинг за динамикой отклика морской экосистемы на такой вид воздействия. Наибольший положительный эффект, видимо, можно ожидать в районах, для которых черви в целом не характерны. Это крупнозернистые, галечные и каменистые (валунные) грунты. Здесь необходимо учитывать, что илистые осадки с включениями червей будут, в первую очередь, аккумулироваться на участках скопления выпавшей в осадок нефти и продуктов ее трансформации.

ВЫВОДЫ

1. Выявлено негативное влияние высоких концентраций нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена в донных отложениях на общую биомассу и численность донных сообществ прибрежной зоны Белого и юго-восточной части Баренцева морей. Анализ статистических связей показал наличие четко выраженной тенденции к уменьшению биомассы макрозообентоса по мере возрастания уровня загрязнения донных осадков в интервале повышенных концентраций рассматриваемых поллютантов.

2. Установлены допустимые границы загрязнения донных отложений нефтяными углеводородами и бенз(а)пиреном при разработке месторождений нефти и газа на шельфе и в прибрежных районах Белого и юго-востока Баренцева морей. Полученные результаты можно распространить на все морские районы западного сектора российской Арктики.

3. По результатам статистических исследований связей между содержанием нефтяных углеводородов в донных отложениях и биомассой зообентоса в качестве нормативной концентрации определен экологически толерантный порог (ЭТП), равный 161 мг/кг сухого грунта. Между содержанием нефтяных углеводородов и общей численностью донных животных статистически достоверной зависимости не обнаружено.

4. В качестве нормативной концентрации (ЭТП) по содержанию бенз(а)пирена в морских донных отложениях предложена величина, равная 21 мкг/кг сухого грунта. Данный показатель получен в результате статистических исследований связей содержания бенз(а)пирена в донных осадках и общей биомассой макрозообентоса.

5. Статистические исследования связей общей численности донных животных и содержания бенз(а)пирена в морском грунте выявили величину ЭТП значительно большую, чем по биомассе, которая составила 74,3 мкг/кг. Данный факт объясняется высокой степенью устойчивости к загрязнению бенз(а)пиреном и нефтяными углеводородами в целом некоторых видов моллюсков и особенно полихет.

6. Выявлены структурные изменения бентосных сообществ исследованных районов в результате загрязнения донных осадков нефтяными углеводородами и бенз(а)пиреном, что выражается в возрастании доли кольчатых червей в общей биомассе и плотности распределения донных беспозвоночных.

7. Полученные в результате диссертационных исследований количественные показатели ЭТП для нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена позволяют определить потери рыбопродукции через гибель кормовых организмов, или потери продукции через гибель промысловых представителей донных беспозвоночных.

8. Выявленные связи между загрязнением донных отложений и количественными характеристиками зообентоса дают возможность оптимизировать схемы экологического мониторинга морских районов за счет снижения количества отбираемых проб макрозообентоса при увеличении числа проб донных осадков, отбираемых для анализа на уровень загрязненности.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

1. Телицина, Л. А. (Самохина) Некоторые данные о состоянии донных биоценозов в районе нефтяного терминала в прибрежной зоне о-ва Колгуев / Л. А. Телицина (Самохина), Д. Т. Менис // Актуальные проблемы биологии и экологии : Материалы докладов VIII молодежной научной конференции Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2002.
2. Мискевич, И. В. Оценка воздействия загрязнения донных отложений нефтяными углеводородами на состояние макрозообентоса Белого и Печорского морей / И. В. Мискевич, Л. А. Телицина // Материалы рыбохозяйственных исследований водоемов Европейского Севера: сб. науч. тр. СевПИРО. – Архангельск: Изд-во «Правда Севера», 2002. – С. 5–11.
3. Телицина, Л. А. (Самохина) Бентосные сообщества устьевого взморья реки Онеги: сравнительный анализ фоновое участка и участка, находящегося под влиянием сточных вод гидролизного завода / Л. А. Телицина // Материалы отчетной сессии Северного отделения ПИНО по итогам научно-исследовательских работ 2001-2002 гг. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003.
4. Самохина, Л. А. Состояние бентосных сообществ акватории подходного канала к порту Северодвинск / Л. А. Самохина // Материалы отчетной сессии Северного отделения ПИНО по итогам научно-исследовательских работ 2002–2003 гг. / СевПИРО. – Архангельск : Изд-во АГТУ, 2005. – С. 64–68.
5. Самохина, Л. А. Анализ связей количественных характеристик бентоса Двинского залива Белого моря с содержанием токсических веществ в грунте / Л. А. Самохина // Материалы XIII Международной конференции по промысловой океанологии. – Калининград : Изд-во АтлантНИРО, 2005. – С. 241–245.
6. Самохина, Л. А. Влияние токсических веществ на формирование биомассы и численности гидробионтов Двинского залива Белого моря / Л. А. Самохина // Материалы отчетной сессии Северного отделения ПИНО по итогам научно-исследовательских работ 2003-2004 г. – Архангельск, 2007. – С. 36 – 40.
7. Самохина, Л. А. Воздействие нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена на бентосные сообщества Белого и Баренцева морей по наблюдениям 2004-2005 гг.. / Л. А. Самохина // Материалы отчетной сессии Северного филиала ПИНО по итогам научно-исследовательских работ 2004–2005 гг. – Мурманск : Изд-во ПИНО, 2008. – 2008. – С. 53 – 58.
8. Мискевич, И. В. Реализация экологических моделей, использующих связи «воздействие-отклик», с помощью регрессионного анализа границ корреляционного поля / И. В. Мискевич, Л. А. Самохина // Вестник Архангельского государственного технического университета. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. – Вып. № 75. – С. 8–15. – (Прикладная геоэкология)

9. Самохина, Л. А. О рыбохозяйственном нормировании содержания нефтяных углеводородов в донных отложениях северных морей Российской Федерации / Л. А. Самохина, И. В. Мискевич. – Рыбное хоз-во. – 2009. – № 4. – С. 74–76.
10. Самохина, Л. А. Оценка влияния бенз(а)пирена на количественные характеристики зообентоса Белого моря и юго-восточной части Баренцева моря / Л. А. Самохина. – Вестник Поморского университета. – 2009. – № 2. – С. 76–82.
11. Самохина, Л. А. Оценка воздействия нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена в донных отложениях на сообщества макрозообентоса Белого и юго-восточной части Баренцева морей / Л. А. Самохина, И. В. Мискевич // Материалы международной конференции «Рыболовство в условиях освоения углеводородных ресурсов континентального шельфа». – Мурманск, 2009.
12. Самохина, Л. А. Влияние нефтяных углеводородов и бенз(а)пирена на сообщества макрозообентоса акватории подходного канала к порту Северодвинск / Л. А. Самохина // Тезисы докладов межд. науч. конф. «Природа современной Арктики: современные вызовы и роль науки». – Мурманск; Апатиты, 2010 г. – С. 199.

Подписано в печать 20.09.2010. Формат 70×84/16.
Усл. печ. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ № 170.

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета
в Северном (Арктическом) федеральном университете

163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17