

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



АЛЕКСЕЕВ ДЕНИС КОНСТАНТИНОВИЧ

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург
2006

Работа выполнена на кафедре прикладной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета

Научный руководитель:
Доктор биологических наук, профессор

Гальцова В.В.

Официальные оппоненты:
доктор географических наук, профессор
кандидат географических наук

Дмитриев В.В.
Нитипинский М.А.

Ведущая организация: Ин-т Оксанологии им. П.П. Ширшова РАН (Санкт-Петербург)

Защита состоится «1» сентября 2006 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, пр. Metallistov, д. 3, аудитория 406

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан «26» сентября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Бескид П.П.

2006 А
8364

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В связи с планированием в арктических морях новых видов хозяйственной деятельности человека остаются актуальными исследования по изучению степени загрязненности их акваторий. Особую опасность представляет загрязнение донных осадков, которые не только обладают способностью аккумулировать различные вещества, в том числе и токсиканты, но и могут служить вторичным источником загрязнения.

Традиционные методы химического и физико-химического анализа не позволяют интегрально оценить экологическую обстановку в различных акваториях Мирового океана. Современные антропогенные воздействия на водные экосистемы весьма сложны, и даже при контроле значительного количества абиотических параметров всегда остается сомнение, что какие-либо влиятельные факторы все же остались неучтенными. Наконец, реакция экосистем существенно зависит не только от состава факторов, но и от их взаимодействия. Известно, что суммарная токсичность водной среды может меняться в зависимости от соотношения различных загрязнителей в смесях.

Возникает необходимость использования и разработки новых методов для оценки экологического состояния среды, позволяющих получить интегральную оценку.

В решении данной проблемы ключевую роль может сыграть применение биологических методов. Состояние биоты определяется всем состоянием среды и четко реагирует на негативные воздействия любого происхождения, независимо от их учета и степени изученности.

Информативным и практически удобным объектом для оценки состояния морских экосистем Арктики в условиях загрязнения окружающей среды является бентос. Его высокая информативность в отношении состояния морской среды определяется тем, что по сравнению с другими группами организмов бентос наиболее стабилен во времени, характеризует локальную ситуацию в пространстве, способен представить изменения экосистемы в ретроспективе.

Цель настоящей работы - оценить экологическое состояние шельфовой зоны арктических морей России на основе анализа состояния донных экосистем в естественных условиях и при антропогенной нагрузке с использованием различных методов: биоиндикации, биотестирования и многокритериальной оценки.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить структуру и организацию бентосных сообществ в шельфовой зоне арктических морей России.
2. На основании анализа структурных характеристик бентосных сообществ оценить экологическое состояние морских донных экосистем в естественных условиях и в условиях антропогенной нагрузки.
3. Выявить факторы и окружающей среды, определяющие распределение бентосных организмов в арктических морях России.
4. Изучить последствия возможного локального воздействия источников радиоактивного загрязнения на донные сообщества.
5. Выполнить многокритериальную оценку загрязнения морских придонных вод и грунтов как среды обитания мейобентосных организмов.

ФЕДЕРАЛЬНАЯ
НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
С.Петербург
09 100 197

6. Оценить экологическое состояние морских донных экосистем с помощью метода биотестирования на основе определения интегральной токсичности поровых вод.

В ходе работы над диссертацией были сформулированы, обоснованы и вынесены на защиту следующие основные положения:

1. Оценка экологического состояния морских донных экосистем с помощью биоиндикации.
2. Многокритериальная оценка состояния морских придонных вод и донных осадков в шельфовой зоне арктических морей России.
3. Новый подход в оценке состояния морских донных осадков с использованием метода биотестирования.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

1. получены новые сведения о пространственном распределении качественных и количественных характеристик бентосных сообществ в шельфовой зоне арктических морей России;
2. впервые проведена оценка экологического состояния морских донных экосистем на основе анализа структуры и организации сообществ мелких донных организмов (мейбентоса) в естественных условиях и в условиях антропогенной нагрузки;
3. выявлены основные факторы и параметры окружающей среды, формирующие состав и структуру бентосных сообществ в прибрежной зоне морей и эстуариях Российской Арктики в районах повышенного антропогенного воздействия;
4. выполнена многокритериальная оценка состояния морских придонных вод и донных отложений для окраинных морей российского сектора Арктики;
5. впервые получена оценка экологического состояния морских осадков с помощью метода биотестирования на основе определения интегральной токсичности поровых вод.

Практическая ценность. Полученные результаты могут быть использованы при планировании и проведении долговременного гидробиологического мониторинга в шельфовой зоне арктических морей России. Обширная информация о локализации донных биоценозов может служить материалом для верификации модельных переносов радиоактивных полей от источника загрязнения в различных направлениях. Практическую ценность представляет разработанный и впервые апробированный метод, позволяющий получить интегральную оценку состояния морских грунтов, при проведении исследований, связанных с изучением степени загрязненности донных осадков морских акваторий.

Апробация работы. Основные положения диссертации неоднократно докладывались на: 1) итоговых сессиях ученого совета РГТМУ (2000, 2001, 2002); 2) международной научной конференции Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон (2002); 3) Седьмой Санкт-Петербургской Ассамблеи молодых ученых и специалистов (2002); 4) Fifth Workshop on Land Ocean Interactions in Russian Arctic (LOIRA). (Moscow, Russia. 2002); 5) The Second AMAP International Symposium on Environmental Pollution of the Arctic: Extended Abstract (Rovaniemi, Finland. 2002).

Публикации. Основные положения работы опубликованы в двух статьях и семи тезисах докладов. Всего по теме диссертации опубликовано 9 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 157 страницах машинописного текста и включает в себя введение, 6 глав с 54 таблицами и 79 рисунками, заключение, выводы и приложение. Список литературы содержит 100 наименований, из которых 24 - на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – доктору биологических наук, профессору В.В. Гальцовой за направление исследований и поддержку в написании диссертации; искреннюю признательность Потребову В.Б. за предоставленные материалы, собранные в ходе экспедиции МЭРА-95; сотруднику Лаборатории морских исследований ЗИН РАН к.б.н. Кулангиевой Л.В., сотруднику Кафедры прикладной экологии РГГМУ Гутниченко В.Г. за научные консультации и конкретную помощь во время работы над диссертацией; профессору, д.г.н. Дмитриеву В.В. за ценные замечания.

Работа выполнена при поддержке Конкурсного центра фундаментального естествознания Минобразования России. Номер гранта: М02-2.6К-41.

Краткое содержание работы

Во введении сформулирована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, определены научная новизна и практическая значимость работы.

Глава 1 «Физико-географическая характеристика окраинных морей Северного Ледовитого океана» посвящена физико-географической, гидрологической и гидрохимической характеристикам арктических морей. Приводится основная информация о температуре, солености, плотности воды, скорости и направлении течений, характере приливов и ледовой обстановке. Рассматриваются отдельные характеристики гидрохимического режима окраинных морей Северного Ледовитого океана – солевой состав, кислородный режим, водородный показатель, биогенные вещества. В этой главе приведены типовые кривые вертикального распределения (кислород, биогенные вещества, элементы карбонатной системы). Описывается пространственно-временная изменчивость содержания гидрохимических элементов в водных массах, а также механизмы формирующие их распределение.

Наличие различных водных масс, процессы образования и таяния льда, а также значительный речной сток, во многом определяют гидрохимические особенности окраинных морей Северного Ледовитого океана.

В главе 2 «Материалы и методы исследования» описывается материал, который был в распоряжении автора, а также методы математической обработки, использованные для его представления и интерпретации.

Основой для работы послужили пробы, собранные в ходе российско-американской экспедиции «Моря и эстуарии Российской Арктики» (МЭРА-95).

Во время экспедиции с борта ГС «Яков Смирницкий» в августе-октябре 1995 г. сотрудниками ГосНИИОПАС, Техасского университета, ВНИИОкеанология и ЗИН

РАН обследовались придонные воды, донные отложения и бентос в Баренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском море. В ходе экспедиции были обследованы побережье о-ва Колгуев в Баренцевом море; эстуарные и морские экосистемы в местах впадения в море Печоры, Оби, Енисея, Пясины, Таймыры, Хатанги, Лены, Яны, Индигирки и Колымы; проливы Вилькицкого, Санникова, Дм Лаптева и прилегающие к ним акватории; основные порты вдоль трассы Северного морского пути: Амдерма, Диксон, Тикси, Певек. Полный список факторов и параметров окружающей среды, регистрируемых в ходе экспедиции, включал в себя около 50 наименований. Бентосные сборы производились на 34 станциях (рис. 1). За время экспедиции были получены уникальные данные о таксономическом составе и количественных характеристиках мейобентоса.

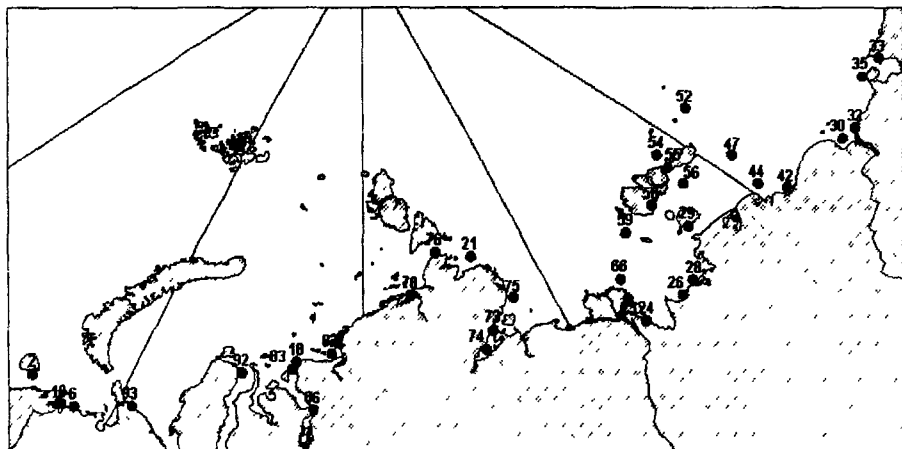


Рис. 1. Схема расположения станций отбора мейобентосных проб в ходе экспедиции МЭРА-95.

Для решения поставленных задач использовался дополнительный материал, собранный в ряде экспедиций лаборатории морских исследований Зоологического института РАН (Голиков и др., 1993, Гальцова, Кулангиева, 1996), сборы экспедиций, организованных ВНИИОкеангеология (Погребов и др., 1995 а, б) и материалы Мурманского морского биологического института (Фролова, 2000) в районе Мурманского мелководья, количественные пробы мейобентоса, собранные комплексной экспедицией в ходе рейса НИС «Геолог Форсман» в августе-сентябре 1993 г. в районе Новой Земли.

Материалом для оценки экологического состояния морских донных осадков с помощью биотестирования на основе определения интегральной токсичности поровых вод послужили пробы, собранные экспедицией НИС «Иван Петров» сотрудниками ВНИИОкеангеология в 1997 году. В основе этого метода лежит сравнение поведенческих реакций тест-организмов - инфузорий *Paramecium caudatum* - на воздействие комплекса веществ, содержащихся в анализируемой пробе по сравнению с контролем (Гальцова и др., 1997). В качестве регистрирующего прибора выступает «Биотестер-2», представляющий собой специализированный импульсный фотометр с на-

бором фотометрических кювет (Пожаров и др., 1994) На основании показаний этого прибора рассчитывается индекс токсичности по формуле:

$$T = \frac{(I_s - I_c)}{I_s},$$

где T – значение индекса токсичности;

I_c и I_s – средние показания прибора для контрольной и анализируемой проб.

Индекс токсичности – величина безразмерная и может принимать значения от 0 до 1 в соответствии со степенью токсичности анализируемой пробы. Степень загрязнения определяется по следующей шкале: T=0,00-0,20 – допустимая; 0,21-0,40 – низкая; 0,41-0,60 – умеренная; 0,61-0,80 – высокая и 0,81-1,00 – очень высокая.

Для получения количества накопленной в сообществах информации был вычислен индекс разнообразия Шеннона-Уивера, показывающий степень насыщенности среды обитания представителями различных таксономических групп (Shannon, Weaver, 1963):

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i.$$

где $P_i = N_i / N$ – доля плотности поселений i-той группы в общей плотности поселений всех групп.

Для полной характеристики гранулометрического состава грунта был вычислен ряд вспомогательных характеристик (Рухин, 1953): медиана (средний размер зерен грунта, Md), коэффициент сортировки (S_0) и асимметрии (S_k). Расчеты коэффициентов сортировки (S_0) и асимметрии (S_k) выполнены по следующим формулам:

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}},$$

$$S_k = \frac{Q_1 Q_3}{Md^2},$$

где Q_1 и Q_3 – первая и третья квартили, Md – средний диаметр частиц грунта (медиана).

Если $S_0 < 2.5$, то грунт является хорошо сортированным, $S_0 = 2.5-4.5$ – средне отсортированным, $S_0 > 4.5$ свидетельствует о плохой сортированности.

S_k – коэффициент асимметрии – показывает положение максимальной ординаты (моды) по отношению к среднему диаметру (медиане), т.е. асимметричность распределения зерен грунта относительно медианы. Если $S_k > 1$, то в осадке преобладают мелкие фракции, то есть мода располагается в этом случае в мелкозернистой части спектра.

Одна из задач нашего исследования заключалась в многокритериальной оценке загрязнения морских придонных вод и грунтов на основе материала, собранного в ходе экспедиции МЭРА-95. Многокритериальная оценка предполагает необходимость проведения процедуры свертывания информации. Как правило, свертывание информации представляет собой целенаправленный процесс, базирующийся на четко сформулированных принципах выбора или конструирования наиболее информативных переменных – индексов состояния (воздействия). Термин «многокритериальная оценка», введенный Дмитриевым (Дмитриев, 1996, 1997), отражает методологическую основу оценки состояния и воздействия на природные экосистемы, с помощью построения сводных (интегральных) показателей по совокупности критериев оценивания.

Решение поставленных задач о влиянии различных факторов окружающей среды на пространственное распределение мейобентосных организмов производилось путем регрессионно-статистической обработки имеющихся данных, выполняемых на ПЭВМ. Реализация моделей для различных вариантов исследования и статистическая оценка надежности результатов производилась с помощью специальных программных средств: Statistica 5.0 и GIDStat, разработанного на Кафедре прикладной экологии РГТМУ.

Для проведения исследований, связанных с оценкой антропогенного воздействия на морские донные экосистемы, была создана база данных для окраинных морей российского сектора Арктики на основе имеющегося материала. Данные приведены за период с 1993 по 2000 годы. Структурно база данных представляет собой двумерную таблицу, состоящую из строк (записей) и столбцов (полей). Название полей соответствуют характеристикам исследуемой природной среды. Реализована база данных с помощью табличного редактора MS Excel 2000, позволяющего производить математико-статистический анализ данных, составлять запросы на языке Visual Basic и импортировать данные в другие специализированные программы. Общий объем базы данных составляет 520 Кб. Количество полей базы данных 76, количество записей 90.

В главе 3 «Структура и организация макробентосных сообществ в естественных условиях и в условиях антропогенной нагрузки» рассматривается структура и организация макробентосных сообществ на примере Мурманского мелководья. Напомним, что одна из задач нашего исследования заключалась в изучении возможного локального воздействия источников радиоактивного загрязнения на донные сообщества. В районе Мурманского мелководья, а именно, на гребне Мурманской банки легла на грунт АПК "Курск" (69°37'08" с. ш. 37°33'03" в. д., глубина 115-116 м). Аварии, связанные с затоплением атомных подводных лодок, могут привести к самым тяжелым последствиям, когда различные нештатные ситуации могут оказать негативное воздействие на окружающую среду, и, прежде всего на морскую биоту.

Таксономический список макробентоса Мурманского мелководья включает 192 вида животных. Разница в количественных характеристиках (по биомассе) в различных сообществах макробентоса составляет несколько порядков величин. В среднем биомасса составляет десятки и сотни грамм на 1 м² площади дна. Значения индекса видового разнообразия Шеннона колебались от 0,87 до 2,32 (рис. 2).

С помощью традиционных дночерпательных методов исследования произведено картирование основных макробиоценозов Мурманского мелководья. В ряде случаев была использована дополнительно траловая съемка и фотографирование морского дна (в том числе и на Мурманской банке). Использование всех трех методик одновременно дает наилучшее представление о характере крупного донного населения.

В самом общем виде можно констатировать, что в структуре макробентоса берегового склона преобладают усоногие раки и иглокожие, в основном морские ежи и офиуры. Структура населения банок характеризуется доминированием иглокожих (морских ежей, голотурий и звезд на Мурманской банке) и большим количеством двустворчатых моллюсков. Таксономическая структура населения впадин и желобов отличается доминированием двустворчатых моллюсков и большим количеством иглокожих (морских звезд в Канинском желобе и желобе Норд-Дьюпет).

Произведено картирование основных трофических зон Мурманского мелководья. Они включают зоны неподвижных сестонофагов, подвижных сестонофагов, со-

бирающих детритофагов (куда попадает Мурманская банка), грунтоедов и плотоядных.

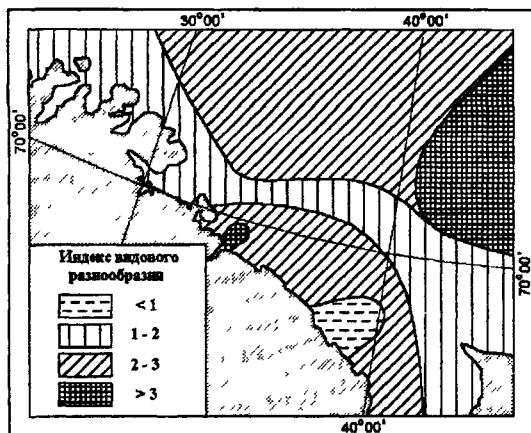


Рис. 2. Видовое разнообразие сообществ макробентоса в районе Мурманского мелководья и сопредельных вод.

В биогеографической структуре преобладают бореально-арктические виды, затем идут арктические и в небольшом числе встречаются бореальные формы. Распределение макробиоценозов в шельфовой зоне Мурманского мелководья носит мозаичный характер. Их видовая, трофическая и биогеографическая структура в естественных ненарушенных средах определяется характером грунта, направлением придонных течений и процессом седиментогенеза.

Откликом донного населения на антропогенное воздействие принято считать: снижение биоразнообразия и обилия организмов, уменьшение доли инфавны и, в частности, грунтоедов в суммарной биомассе бентоса; доминирование в сообществах видов с коротким жизненным циклом, главным образом - аннелид (Кузнецов, 1980; Дауег, 1995), а также изменения других биологических параметров.

В прибрежной зоне морей и эстуариях Российской Арктики в районах повышенного антропогенного воздействия основными факторами, непосредственно влияющими на состав и структуру бентоса обследованной акватории являются (Погребов и др., 2001): 1) основные характеристики воды и донных отложений, традиционно рассматриваемые, как наиболее значимые для биоты факторы (глубина, величина водородного показателя, гранулометрические характеристики, содержание карбонатного углерода в донных отложениях); 2) концентрация в воде различных биогенов (Si , NO_3), которая может определяться, как природными процессами, так и антропогенным загрязнением; 3) содержание в донных отложениях металлов и природных радионуклидов (Cd , Cu , Ba и ^{226}Ra).

Глава 4 «Структура и организация мейобентосных сообществ в естественных условиях и в условиях антропогенной нагрузки» посвящается обзору таксономического состава и количественных характеристик мейомейобентоса, также выявлены факторы и параметры окружающей среды, определяющие распределение мелких донных животных арктических морях России в естественных условиях и в усло-

виях антропогенной нагрузки Произведена многокритериальная оценка загрязнения морских придонных вод и грунтов как среды обитания мейобентоса.

Термин "мейобентос" был впервые употреблен М. Мэр (Mare, 1942) для обозначения донных животных размером 0,1-2 мм. В пределах мейобентоса принято различать постоянные и временные компоненты. Постоянный элемент включает мелких многоклеточных, которые по своим размерам, численности, времени размножения и адаптации можно рассматривать отдельно от крупных компонентов бентоса, т. е. это животные, в течение всего жизненного цикла относящиеся к мейобентосу. Временный элемент - это категория, включающая многих представителей макрофауны, который имеют бентические ювенильные стадии и могут быть отнесены к мейобентосу только на ранних стадиях своего развития. Для первой категории бентоса Л.Л. Численко (1961) предложил термин "эвмейобентос", для второй - "псевдомейобентос".

Мейобентосные организмы обладают рядом преимуществ перед макробентосом, что делает их очень удобным объектом для мониторинговых исследований (Гальцова, 2001; Фадеева, 2005; Алексеев, 2002).

4.1 Качественный состав мейобентоса. За время экспедиции МЭРА-95 на обследованной акватории идентифицирован 21 таксон мейобентоса (в основном ранга отряд, класс) Таксономический состав мейобентоса разнообразен на всей исследуемой акватории и меняется от станции к станции. Эвмейобентос был представлен Foraminifera, Cnidaria, Turbellaria, Gnathostomulida, Nematoda, Kinorhyncha, Gastrotricha, Loricifera, Tardigrada, Harpacticoida, Ostracoda, Halacarida. В псевдомейобентосе отмечены Nemertini, Oligochaeta, Polychaeta, Tanaidacea, Cumacea, Amphipoda, Gastropoda, Bivalvia, Asteroidea.

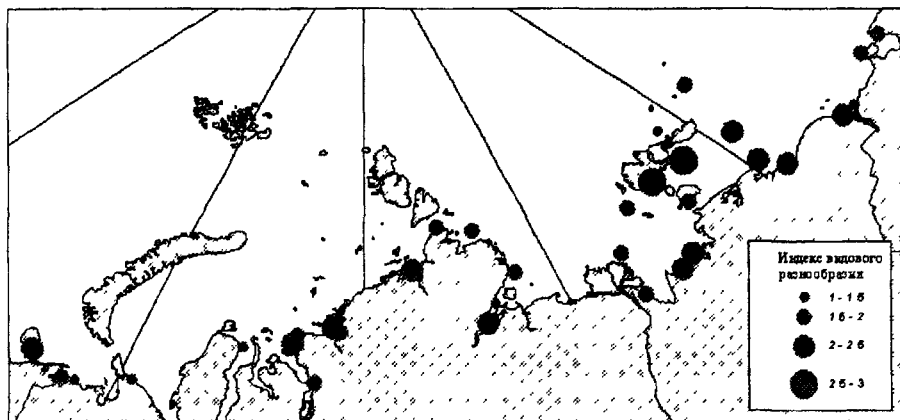


Рис. 3. Распределение таксономического разнообразия мейобентоса в российских арктических морях.

Значения индекса видового разнообразия Шеннона-Уивера на исследуемых акваториях варьировались в пределах от 1,21 до 2,61, при этом наблюдается следующая закономерность: минимальные значения индекса, как правило, фиксируются в устьевых участках и эстуариях рек, а также в районах портовых акваторий (рис. 3). Веро-

ятно, в первом случае такое распределение обусловлено влиянием речного стока, который оказывает опресняющее воздействие, и антропогенным воздействием во втором (Гальцова и др., 2001, 2002).

На Мурманском мелководье и в сопредельных водах мейобентос был изучен в диапазоне глубин от 25 до 205 м. В мейофауне исследованной акватории отмечены следующие группы эвмейобентоса: Turbellaria, Nematoda, Ostracoda, Harpacticoida. Псевдомейобентос составили Nemertini, Polychaeta, Oligochaeta, Bivalvia, Gastropoda, Isopoda, Tanaidacea, Amphipoda.

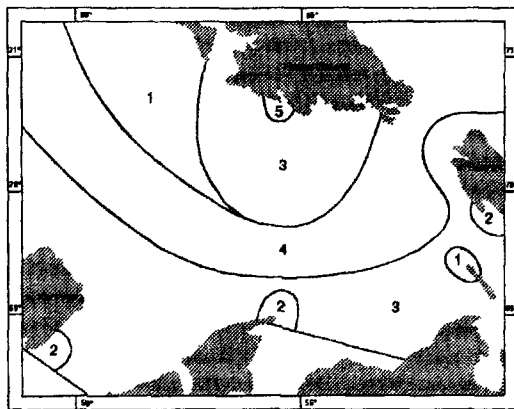


Рис. 4. Донные сообщества мейобентоса в центральной части Баренцева моря (по: Погребов и др., 1995) Условные обозначения: 1 – Foraminifera, 2 – Turbellaria, 3 – Nematoda, 4 – Gnathostomulida, 5 – Harpacticoida.

Исследования по изучению таксономического состава мейобентоса, характеру его пространственного распределения в районе Мурманского мелководья показало, что локализация мейобентосных сообществ носит поясной характер (Погребов и др., 1995). В центральной части Баренцева моря выделено 5 основных сообществ мейобентоса (рис. 4). Сообщество нематод располагается на обширных площадях шельфовой зоны. Полигон, на котором было собрано 15 количественных проб мейобентоса, как раз располагался в районе сообщества свободноживущих нематод.

Рассмотрим, каким образом распределялось таксономическое разнообразие мейобентоса на исследованном полигоне. Распределение этой характеристики весьма неравномерно на изученной акватории и носит мозаичный характер. Район Мурманской банки и желобов характеризуется значением информационного индекса Шеннона-Уивера в пределах 0,51-1,00. Западнее банки это значение может быть выше.

4.2 Количественное распределение мейобентоса. Количественные характеристики (плотность поселений и биомасса) мейобентоса в окраинных морях российского сектора Арктики, его подразделений и отдельных групп менялись в пределах 2-3 порядков величин. На всех исследуемых акваториях арктических морей России по численности доминировал эвмейобентос, по биомассе – псевдомейобентос. Только на одной станции в Печорском море это соотношение не выполняется. Здесь плотность поселений псевдомейобентоса достигает 60,5 %. При исследовании распределения

количественных характеристик мейобентосных групп было обнаружено, что по численности, как правило, доминируют Nematoda, Harpacticoida и Polychaeta, по биомассе наблюдается преобладание Polychaeta, Bivalvia и Asteroidea. Минимальные значения количественных характеристик мейобентоса приурочены к основным портам вдоль трассы Северного Морского Пути (Амдерма, Диксон, Тикси, Певек), а также в Енисейском заливе (рис. 5).

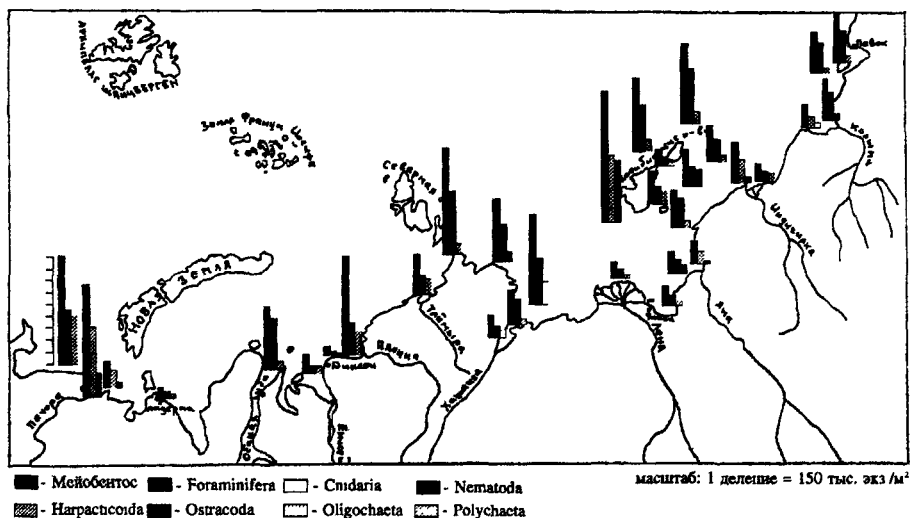


Рис. 5. Распределение плотности поселений мейобентоса и его отдельных групп в российских арктических морях (по результатам экспедиции МЭРА-95).

Количественные характеристики мейобентоса Мурманского мелководья различались на 2-3 порядка величин. Плотность поселений всего мейобентоса колебалась от 10,0 до 708,5 тыс. экз./м², биомасса – от 18,1 мг/м² до 12,1 г/м². В районе Мурманской банки численность мейобентоса была в пределах 25-50 тыс. экз./м². Восточнее – мейобентосное сообщество было более обильным, западнее – встречаются участки как с более высокой, так и с более низкой численностью мелких донных организмов.

4.3 Многокритериальная оценка загрязнения морских придонных вод и грунтов как среды обитания мейобентоса. На основе имеющегося в нашем распоряжении материала, полученного в ходе экспедиции МЭРА-95, была выполнена попытка построения сводного индекса загрязнения.

В качестве критериев оценки, характеризующих загрязнение придонных вод, были выбраны следующие гидрохимические параметры: насыщенность вод кислородом, содержание суммарного железа, аммония, нитратов и нитритов. Оценка загрязнения донных осадков производилась по содержанию тяжелых металлов в пелитовой фракции грунта: меди, марганца, свинца, никеля и цинка.

Классификацию можно проводить на основе существующих систем ПДК (рыбохозяйственные, санитарно-гигиенические, питьевые), с указанием лимитирующего

признака вредности, выделяя границы градации: фон, <ПДК, 10 ПДК, 100 ПДК и т.п. (Дмитриев и др., 1996).

В настоящей работе классификация уровня загрязнения среды производилась по модифицированной указанной выше шкале: I – «фон – ПДК», II – «ПДК – 5ПДК», III – «5ПДК – 10ПДК», IV – «10-20ПДК». Первый класс соответствует чистой среде, второй класс – загрязненной, третий и четвертый – грязной и очень грязной.

В общем оценка производилась по 10 показателям, пять из которых характеризуют загрязнение морских придонных вод и остальные пять – загрязнение грунтов. Выбор критериев обусловлен особенностями материала, который находился в нашем распоряжении и существующих нормативов качества природной среды.

При построении шкалы качества придонных морских вод использовались предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в воде водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей. Классификация загрязненности вод по уровню содержания кислорода осуществлялась по существующей шкале (табл. 1) с той лишь разницей, что были объединены в один I и II классы качества.

Таблица 1.

Содержание кислорода в водоемах с различной степенью загрязненности (по справочнику «Гидрохимические показатели состояния окружающей среды», 2000)

Уровень загрязненности воды и класс качества	Растворенный кислород, % насыщения
Очень чистые, I	95
Чистые, II	80
Умеренно загрязненные, III	70
Загрязненные, IV	60
Грязные, V	30
Очень грязные, VI	0

Величины ПДК, которые использовались при построении шкал, брались из «Перечня рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение» (1999 г.), а также из «Перечня предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве» (2004 г.). Для почв использовались ПДК по миграционно-водному показателю вредности, отражающему вероятность миграции загрязняющих веществ из почвы в воду. В качестве «фона» выбраны средние значения указанных параметров из «Ежегодника качества морских вод по гидрохимическим показателям» за 1993, 1994, 1995 и 1996 годы.

Следующим этапом работы было получения интегрального показателя состояния морских донных вод и грунтов. Производилась двухуровневая свертка исходной информации. На первом уровне рассчитывался сводный показатель отдельно для морских вод и донных осадков, а на втором – между двумя указанными индексами. Вес каждого показателя, как на первом, так и на втором уровне свертки, принимался равным для всех параметров и определялся простой формулой: $p_i = 1/n$, где n – число параметров. Для нашего случая $p = 0.25$ для первого уровня и $p = 0.5$ для второго (табл. 2).

Рассмотрим пространственное распределение интегрального показателя по акватории арктических морей России.

Сводный индекс состояния морских придонных вод на исследуемых акваториях окраинных морей России варьировался от 0 до 0,24, при среднем значении 0,11, что соответствует, согласно построенной шкале, I и II качеству среды (рис. 6). Таким образом, придонные воды исследуемых акваторий морей можно охарактеризовать как чистые и загрязненные. Второму классу качества соответствуют пробы, собранные в районе устья р. Печоры (ст. 6), Обской губы (ст. 92), Енисейского залива (ст. 83), в районе порта Дикси (ст. 18) и Новосибирских островов (ст. 54, 55, 56).

Таблица 2.
Интегральный показатель (I) качества морских придонных вод (I1)
и донных осадков (I2)

Признаки	Уровень загрязненности придонных морских вод и класс качества			
	Чистые, I	Загрязненные, II	Грязные, III	Очень грязные, IV
I1 придонных вод	0-0,13	0,13-0,30	0,31-0,55	0,55-1
I2 грунтов	0-0,04	0,04-0,24	0,24-0,5	0,50-1
I сводный индекс	0-0,08	0,08-0,27	0,27-0,52	0,52-1

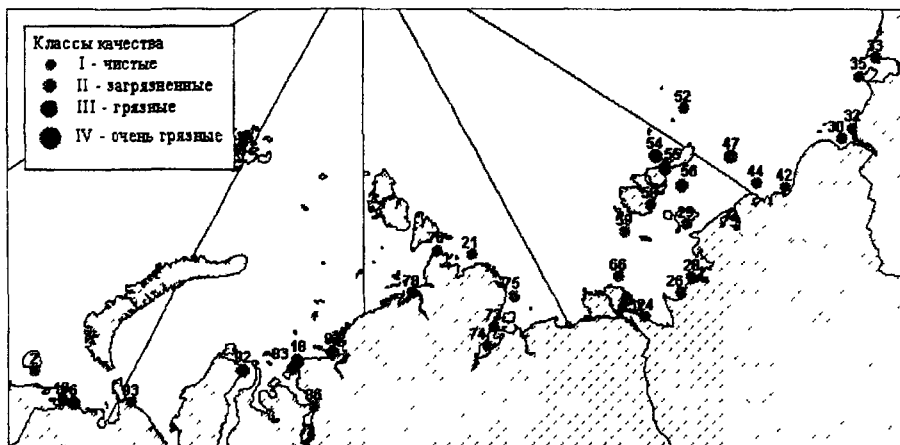


Рис. 6. Оценка состояния морских придонных вод на основе интегрального показателя. Условные обозначения: цифры – номера станций отбора проб.

Интегральный индекс состояния морских донных осадков, рассчитанный по содержанию тяжелых металлов, находился в пределах 0,04 до 0,55, при среднем значении 0,12 (ближе к левой границе второго класса). Минимальные значения свидетельствуют о чистой среде, а максимальные - о сильной степени загрязнения (рис. 7).

Сводный индекс состояния морских вод и грунтов, варьировался в пределах от 0,06 до 0,29 (ближе к левой границе класса), при среднем значении 0,12, что соответствует I и III классу качества. Максимальные значения зафиксированы в устье р. Печоры (ст. 6, 10) и в районе Новосибирских островов (ст. 55), а минимальные на двух станциях, расположенных вблизи устья р. Индигирки (ст. 44 и 42) (рис. 8). В целом же можно охарактеризовать исследуемые акватории морей как умеренно загрязненные. Основным источником загрязнения окраинных морей России, по-видимому, является поступление загрязняющих веществ с речным стоком.

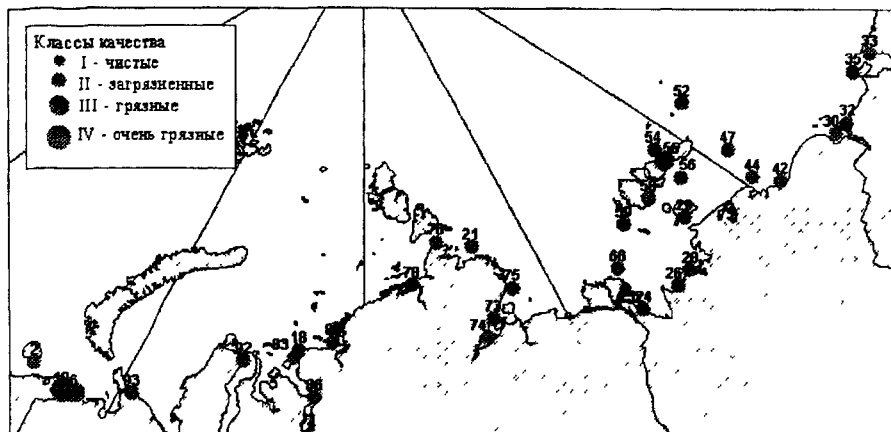


Рис. 7. Оценка состояния морских донных осадков на основе интегрального показателя. Условные обозначения: цифры – номера станций отбора проб

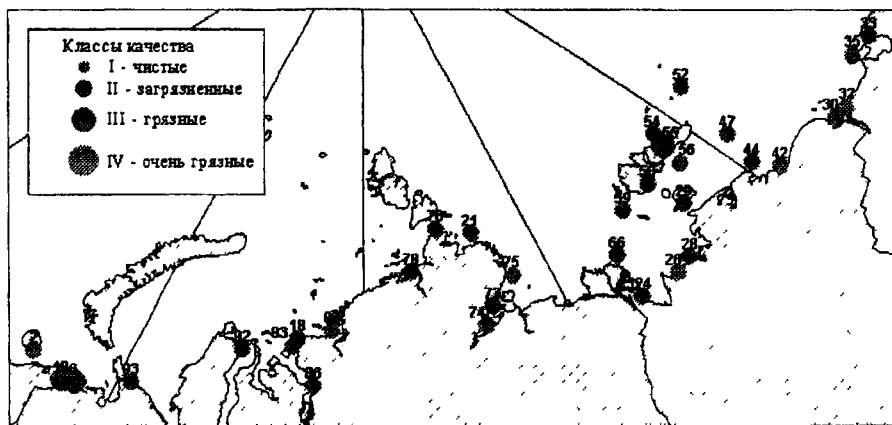


Рис. 8. Оценка состояния морских придонных вод и донных осадков на основе интегрального показателя. Условные обозначения: цифры – номера станций отбора проб.

4.4 Воздействие факторов среды на распределение мейобентосных организмов. Для возможности использования мейобентоса в качестве индикаторной группы оценки экологического состояния морских донных экосистем как в условиях “нормы”, так и при антропогенной нагрузке очень важно оценить, какие экологические факторы в первую очередь влияют на пространственное размещение мелких донных организмов в естественных условиях в отсутствие возмущающего воздействия извне. В качестве таких природных факторов будут рассмотрены гранулометрический анализ грунта и содержание в нем органического вещества.

Основная среда обитания мейобентосных организмов – капиллярные пространства, существующие между частицами грунта. Иными словами, характер грунта, его

гранулометрический состав являются, вероятно, важнейшими естественными экологическими факторами, определяющими пространственное размещение мелких донных животных (Гальцова и др., 2001). На имеющемся в нашем распоряжении материале, собранном в районе Мурманского мелководья и сопредельных вод, мы решили рассмотреть, каким образом распределены животные мейобентоса на различных грунтах. Вычисленный ранговый коэффициент корреляции Спирмена показал существование достоверной положительной связи между типом грунта и плотностью поселений мейобентосных животных. Результаты статистической обработки приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Значения рангового коэффициента корреляции Спирмена, характеризующего взаимосвязь количественного распределения мейобентоса с типом грунта в районе Мурманского мелководья и сопредельных вод

Группа	Коэффициент корреляции		Критерий Стьюдента		Число степеней свободы	Связь
	r	r_s	t	t_{α}		
Мейобентос	0.98 ± 0.01		89.9	2.1	16	Достоверная положительная
Эвмейобентос	0.97 ± 0.01		69.9	2.1	16	Достоверная положительная
Псевдомейобентос	0.96 ± 0.02		50.0	2.1	16	Достоверная положительная
Foraminifera	0.84 ± 0.07		12.2	2.1	16	Достоверная положительная
Nematoda	0.98 ± 0.01		89.6	2.1	16	Достоверная положительная
Haracticoida	0.93 ± 0.04		24.1	2.2	11	Достоверная положительная
Ostracoda	0.82 ± 0.12		6.9	2.3	8	Достоверная положительная
Polychaeta	0.96 ± 0.02		51.7	2.1	15	Достоверная положительная
Oligochaeta	0.89 ± 0.06		15.6	2.2	12	Достоверная положительная

В ходе работы над имеющимся материалом была предпринята попытка выявить, существует ли связь между средними размерами частиц грунта и плотностью поселений свободноживущих нематод - самой массовой группой мейобентоса. Однако достоверной корреляции выявить не удалось. Вероятно, зависимость количественного размещения мейобентоса от гранулометрического состава грунта носит более сложный характер. Это также неоднократно отмечается и в литературе (Sherman, Coull, 1980; Гальцова, 1991).

На материалах, собранных в натуральных условиях на полигоне Мурманского мелководья, предстояло выяснить наличие взаимосвязи между содержанием органического вещества и плотностью поселений всего мейобентоса, его подразделений и групп.

Для этой цели, параллельно с количественными пробами мейобентоса, были собраны пробы, в которых определялось содержание органического вещества по бихроматной окисляемости грунта. Содержание органического углерода в пробах колебалось от 0,12 до 3,91%.

Затем был вычислен ранговый коэффициент корреляции между процентным содержанием органического вещества и плотностью поселений животных. Их значения даны в таблице 4.

Как видно из таблицы, во всех случаях была найдена достоверная положительная корреляция между содержанием органики и численностью как всего мейобентоса, так его подразделений и отдельных групп.

В литературе имеются сведения о поглощении растворенной и взвешенной органики сообществами мейобентоса (Ott et al., 1982; Montagna, 1984). Органическое вещество представляет собой один из важнейших источников питания для многих мейобентосных организмов. Его поглощение может происходить как через ротовое отверстие животных, так и транскутикулярно. Более подробно этот вопрос обсуждается в одной из последних работ (Гальцова, 1991). По нашему мнению, в осадках с богатым содержанием растворенного и взвешенного органического вещества в интерстициальном пространстве следует ожидать более богатой и разнообразной в таксономическом отношении мейофауны с высокими количественными характеристиками.

Таблица 4.

Значение рангового коэффициента корреляции Спирмена, характеризующего взаимосвязь между содержанием органического вещества и плотностью поселений мейобентоса, его подразделений и отдельных групп в районе Мурманского мелководья и сопредельных вод

Группа	Коэффициент корреляции		Критерий Стьюдента		Число степеней свободы	Связь
	r	m _r	t	t _к		
Мейобентос	0.93 ± 0.05		20.5	2.3	9	Достоверная положительная
Эвмейобентос	0.94 ± 0.04		25.3	2.3	9	Достоверная положительная
Псевдомейобентос	0.83 ± 0.05		7.7	2.3	9	Достоверная положительная
Nematoda	0.91 ± 0.06		16.2	2.3	9	Достоверная положительная
Haracticoida	0.81 ± 0.11		69.0	2.3	9	Достоверная положительная

Подводя итог вышесказанному, отметим, что гранулометрический состав грунта и концентрация органического вещества в донных осадках – это два важных экологических фактора, которые в большой мере определяют характер пространственного размещения мейобентоса в естественных, ненарушенных средах.

Одна из задач нашего исследования заключалась в выявлении факторов и параметров окружающей среды, формирующие состав и структуру мейобентосных сообществ в прибрежной зоне морей и эстуариях Российской Арктики в районах повышенного антропогенного воздействия. Напомним, что в нашем распоряжении находились данные о 50 различных параметров окружающей среды. В результате исполь-

зования аппарата множественной регрессии получены новые данные о воздействии факторов среды на характер распределения мейобентоса в окраинных морях России.

В прибрежной зоне морей и эстуариях Российской Арктики в районах повышенного риска антропогенных нарушений природной среды основными факторами, непосредственно влияющими на состав и структуру мейобентоса обследованной акватории являются: 1) основные характеристики воды и донных отложений, традиционно рассматриваемые, как наиболее значимые для биоты факторы (соленость, величина водородного показателя, прозрачность, гранулометрические характеристики); 2) содержание в донных отложениях органического вещества и различных углеводородов (в нашей работе антропогенного происхождения); 3) содержание в донных осадках металлов (Ni, Co, V, Cu) и радионуклидов, как естественного (^{226}Ra), так и искусственного происхождения (^{137}Cs).

Глава 5. «Возможные локальные воздействия источников радиоактивного загрязнения на донные сообщества». В предыдущих главах были подробно рассмотрены структура и организация бентосных сообществ в естественных условиях и в районах повышенного антропогенного воздействия. Напомним, что одна из задач нашего исследования заключалась в изучении возможного локального воздействия источников радиоактивного загрязнения на донные сообщества. В районе Мурманского мелководья, а именно, на гребне Мурманской банки легла на грунт АПК "Курск" (69°37'08" с. ш. 37°33'03" в. д., глубина 115-116 м). Аварии, связанные с затоплением атомных подводных лодок, могут привести к самым тяжелым последствиям, когда различные нештатные ситуации могут оказать негативное воздействие на окружающую среду, и, прежде всего на морскую биоту.

Относительно макробентоценозов, то из анализа литературных источников можно предположить следующее. Сообщества крупных донных животных самый инертный компонент морской донной экосистемы. Продолжительность жизни большинства макробентосных животных измеряется несколькими годами. Следовательно, эта категория бентоса не может мгновенно отреагировать на увеличение уровня радиоактивности окружающей среды изменением своей структуры, включая биологическое разнообразие. Что можно ожидать определено, так это значительное увеличение концентрации радионуклидов в самих гидробионтах, особенно в подвижных и неподвижных сестонофагах, детритофагах и грунтоедах.

К настоящему моменту имеются единичные исследования, касающиеся воздействия радиоактивного загрязнения на мейобентосные сообщества. В своей работе мы попытались решить данный вопрос.

Материалом для исследования по воздействию радиации на распределение мелкой донной фауны послужили количественные пробы мейобентоса, собранные комплексной экспедицией в ходе рейса НИС «Геолог Форсман» в августе-сентябре 1993 г. в районе Новой Земли в губе Черная (глубина 31-87 м), в заливах Степного и Абросимова (глубина 44-74 м) и в районе Новоземельской впадины (глубина 333-403 м).

Губа Черная – место первых подводных, атмосферных и подземных испытаний ядерного оружия. Радиоактивные продукты взрывом быстро оседали на дно небольшого по площади района и включались в абиотические компоненты экосистемы. Поступление радионуклидов в придонные слои воды и в донные осадки было в большой степени связано с их аккумуляцией донными организмами. В целом в результате ядерных взрывов донные отложения в губе имеют высокий уровень загрязнения ра-

диоактивным плутонием и цезием, а также другими радиоактивными изотопами. Следует заметить, что подвижность радионуклидов в донных осадках невелика, и в настоящее время их воздействие на экосистему незначительно.

Заливы Аброямова и Степового на восточном побережье архипелага стали местом подводного хранения барж, судов и контейнеров с радиоактивными отходами. Повышенная концентрация ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ особенно выражена непосредственно рядом с контейнерами. У захороненных судов активность нуклидов сравнительно небольшая.

Одной из основных задач было выяснение влияния концентрации радиоцезия на мейобентосные организмы. Исследования подобного рода выполнены для мейобентосных организмов впервые.

Для установления существования такого рода зависимости был вычислен ранговый коэффициент корреляции Спирмена между уровнем концентрации цезия и индексом таксономического разнообразия Шеннона-Уивера. Как известно, ранговый коэффициент корреляции в равной мере характеризует сопряженность признаков как в случае прямолинейной, так и в случае криволинейной связи. Значение коэффициента корреляции показало наличие достоверной положительной связи между этими параметрами. Коэффициент корреляции был равен 0,97, его ошибка составила 0,01, критерий достоверности различий 68,3, стандартное значение критерия Стьюдента равно 4,1 при числе степеней свободы 15. Полученные результаты хорошо иллюстрируются рисунком (рис. 9). С увеличением концентрации ^{137}Cs возрастает таксономическое разнообразие сообществ мейобентоса в исследованном регионе.

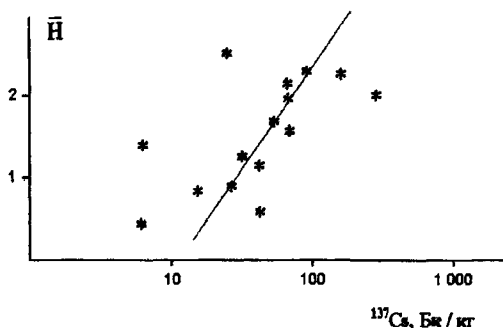


Рис. 9. Зависимость таксономического разнообразия сообществ мейобентоса от концентрации ^{137}Cs в районах захоронения радиоактивных отходов вокруг Новой Земли (1993 г.).

Номограмму, представленную на рисунке, можно использовать при оценке воздействия различных концентраций радиоцезия на биологическое разнообразие сообществ мейобентоса. Как было показано, в разделе, характеризующем фоновое состояние сообществ мейобентоса Мурманского мелководья до гибели АПЛ «Курск», в норме биологическое (таксономическое) разнообразие мейобентоса не превышает значений индекса 1.0-1.2. С увеличением уровня радиоактивности величина этого показателя быстро возрастает.

Второй вопрос, на который следовало ответить, каким образом влияет уровень концентрации радиоцезия на количественные характеристики мейобентоса. Для этой

цели также были вычислены коэффициенты корреляции Спирмена (табл. 5). Значения этих коэффициентов показали, что как весь мейобентос (рис. 10), так и доминирующие по плотности поселений группы – фораминиферы и нематоды – обнаруживают тенденцию к уменьшению численности животных с увеличением концентрации цезия.

Таблица 5.
Значение рангового коэффициента корреляции Спирмена, характеризующего взаимосвязь количественного распределения мейобентоса с концентрацией ^{137}Cs в районе архипелага Новая Земля

Группа, подразделение	Коэффициент корреляции		Критерий Стьюдента		Число степеней свободы	Связь
	r	σ_r	t	t_{α}		
Мейобентос	-0.92	0.04	23.4	4.1	15	Достоверная отрицательная
Foraminifera	-0.92	0.05	18.6	4.1	15	Достоверная отрицательная
Nematoda	-0.93	0.03	24.5	4.1	15	Достоверная отрицательная

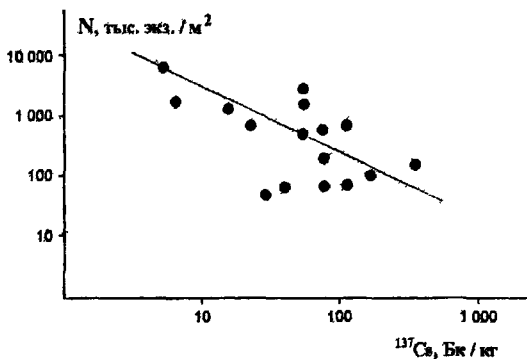


Рис. 10. Зависимость плотности поселений мейобентоса от концентрации ^{137}Cs в районах захоронения радиоактивных отходов вокруг Новой Земли (1993 г.).

Таким образом, на нашем материале удалось показать, что с увеличением концентрации цезия-137 возрастало таксономическое разнообразие сообществ мейобентоса и уменьшалась плотность поселений мелких донных животных.

Глава 6 «Оценка состояния морских донных экосистем с помощью биотестирования на основе определения интегральной токсичности поровых вод». Исследования проводили на 10 станциях в Кольском заливе и в сопредельных водах Баренцева моря, где данный метод впервые нашел свое практическое применения для оценки состояния морских донных осадков.

По нашим наблюдениям значение индекса колеблется от 0,11 до 0,95 (табл. 6). Это свидетельствует о чистой среде и о сильной степени загрязнения соответственно. Максимальный уровень интегральной токсичности поровых вод был зафиксирован на станции 101 и 103, минимальный - на станции 109 и 112. В общем можно говорить о

низкой степени загрязнения донных осадков в Кольском заливе и сопредельных водах Баренцева моря за исключением сильно загрязненных участков

Мы рассмотрели, каким образом распределяются значения интегральной токсичности по акватории Кольского залива. Наблюдается уменьшение ее уровня по мере продвижения к открытой части моря (рис.11). Это может быть связано с удалением от источника загрязнения и с уменьшением антропогенной нагрузки. Также надо учитывать особенности гидрологического режима данной акватории.

Таблица 6.

Результаты измерений уровня токсичности поровых вод на различных станциях в Кольском заливе и в сопредельных водах Баренцева моря

Номер станции	101	103	105	106	108	109	110	111	112	113
Токсичность, Т	0,94	0,95	0,34	0,54	0,39	0,12	0,24	0,51	0,11	0,33

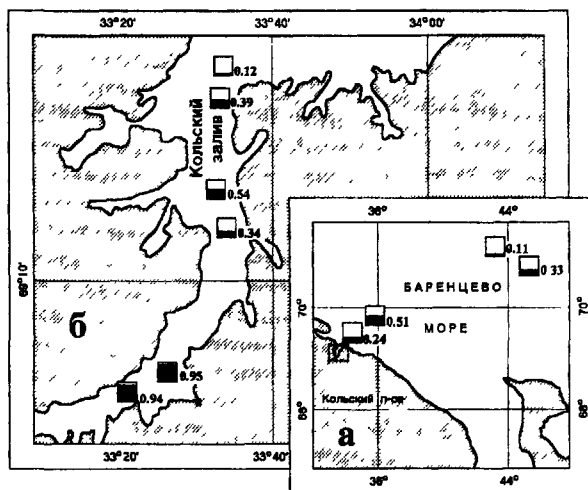


Рис. 11. Пространственное распределение интегральной токсичности морских донных осадков: а – в Баренцевом море, б – в Кольском заливе. Условные обозначения: цифрами обозначены значения индекса интегральной токсичности (Т) на различных станциях в Кольском заливе и сопредельных водах Баренцева моря. Степень загрязнения определяется по следующей шкале: Т=0,00-0,20 - допустимая; 0,21-0,40 - низкая; 0,41-0,60 - умеренная; 0,61-0,80 - высокая и 0,81-1,00 - очень высокая.

Одна из задач нашего исследования заключалась в том, чтобы выявить факторы окружающей среды, которые влияют на пространственное распределение интегральной токсичности. На основе данных об интегральной токсичности морских осадков, результатов химического и спектрального анализа поровых вод, гранулометрического анализа грунта производился пошаговый регрессионный анализ.

Основными факторами, определяющими уровень интегральной токсичности в Кольском заливе и сопредельных водах Баренцева моря, являются медиана (Md) и содержание гидрокарбонатных ионов (HCO_3^-), содержание хрома (Cr) и водородный показатель (pH), содержание марганца (Mn) и стронция (Sr).

Влияние медианы объясняется тем, что она является показателем порового пространства, т. е. характеризует количество воды с растворенными поллютантами. Оценка воздействия на уровень интегральной токсичности концентрации гидрокарбонатных ионов, также как и водородного показателя, требует проведения дальнейших специальных исследований. Влияние хрома можно объяснить присущей ему способностью оказывать токсическое действие (Андрущишин, 1998). Смесь различных токсикантов может вести себя по-разному при определении токсичности. При этом выделяют следующие типы взаимодействий: 1 - нейтральный, 2 - аддитивный, 3 - синергический, 4 - антагонистический. Согласно полученным результатам характер взаимодействия марганца и стронция относится ко второму типу.

Полученные результаты подтверждаются проведенными ранее исследованиями (Матишов и др., 1996). Согласно этой информации, открытая часть Баренцева моря характеризуется как "чистая". Вместе с тем высокую степень загрязнения имеют заливы моря, в том числе и Кольский.

Заключение. Проведены комплексные исследования по оценке экологического состояния шельфовой зоны арктических морей России с использованием методов биондикации, биотестирования и метода сводных показателей.

В качестве индикатора экологического состояния морских донных экосистем использовался мейобентос - своеобразный комплекс мелких донных животных, приспособившийся к условиям существования в капиллярных пространствах между частицами грунта. Мейобентосные организмы обладают рядом преимуществ перед макробентосом, что делает их очень удобным объектом для мониторинговых исследований. В ходе нашего исследования удалось установить, что мейобентос быстрее реагирует на радиоактивное загрязнение путем изменения своего таксономического разнообразия и количественных характеристик, а макробентос - более инертный компонент, менее подверженный воздействию этого фактора.

Значительные изменения качественных и количественных характеристик мейобентосных сообществ зафиксированы в районах основных портов трассы вдоль Северного Морского Пути (Амдерма, Диксон, Тикси, Певек). Развитие промышленных и хозяйственных предприятий прибрежных городов, быстрый рост численности населения, вероятно, привели к большим объемам организованных промышленных и хозяйственно-бытовых стоков.

Полученные результаты подтверждаются другими нашими исследованиями, проведенными в Кольском заливе и сопредельных водах Баренцева моря. Согласно этим данным происходит уменьшения уровня интегральной токсичности морских донных осадков по мере продвижения к открытой части моря. Кольский залив является одновременно местом разгрузки наземной водной системы, районом интенсивного судоходства и местом расположения целого ряда крупных гражданских и военных портов. Загрязнение распространяется по всей акватории залива и выносится в открытое море.

Основные выводы. На основании проведенной работы и анализа литературы можно сделать следующие выводы:

1. Таксономический список макробентоса Мурманского мелководья включает 192 вида животных. Разница в количественных характеристиках (по биомассе) в различных сообществах макробентоса составляет несколько порядков величин. В среднем биомасса составляет десятки и сотни грамм на 1 м² площади дна. Распределение мак-

робиоценозов в шельфовой зоне Мурманского мелководья носит мозаичный характер. Их видовая, трофическая и биогеографическая структура определяется характером грунта, направлением придонных течений и процессом седиментогенеза

2. На обследованной акватории идентифицирован 21 таксон мейобентоса (в основном ранга отряд, класс). Количественные характеристики (плотность поселений и биомасса) мейобентоса, его подразделений и отдельных групп менялись в пределах 2-3 порядков величин. На всей исследуемой акватории, как правило, по численности доминировал эвмейобентос, по биомассе – псевдомейобентос. Два важных экологических фактора, которые в большой мере определяют характер пространственного размещения мейобентоса в естественных, ненарушенных средах – это гранулометрический состав грунта и концентрация органического вещества в донных осадках.

3. Сводный индекс состояния придонных вод и донных отложений, рассчитанный на основе интегральных показателей качества морских вод и грунтов, варьировался в пределах от 0,06 до 0,29 (ближе к левой границе класса), при среднем значении 0,12, что соответствует I и III классу качества. Максимальные значения зафиксированы в устье р. Печоры и в районе Новосибирских островов, а минимальные на двух станциях, расположенных вблизи устья р. Индигирки. В целом же можно охарактеризовать исследуемые акватории морей как умеренно загрязненные.

4. В прибрежной зоне морей и эстуариях Российской Арктики в районах повышенного антропогенного воздействия основными факторами, определяющими пространственное распределение мейобентосных организмов, являются: а) основные характеристики воды и донных отложений, традиционно рассматриваемые, как наиболее значимые для биоты факторы (соленость, прозрачность, величина водородного показателя, содержание кислорода, гранулометрические характеристики; б) содержание в донных отложениях углеводородов (содержание асфальтенов, в настоящей работе – очевидно антропогенного происхождения); в) содержание в донных отложениях металлов (Co, Ni, Va, Cu); г) содержание в донных отложениях радионуклидов (^{226}Ra , ^{40}K , ^{137}Cs), как природного, так и антропогенного происхождения.

5. Анализ структуры и организации сообществ мелких донных организмов (мейобентоса) в естественных условиях и в условиях антропогенной нагрузки показал, что экологическое состояние биоты большей части обследованных акваторий (исключая некоторые прибрежные районы) можно считать близким к среднепоголетней норме. Значительные антропогенные нарушения структуры бентоса (по сравнению с биологической нормой для рассмотренных абиотических условий) отмечены лишь вблизи портовых акваторий (бухта Тикси).

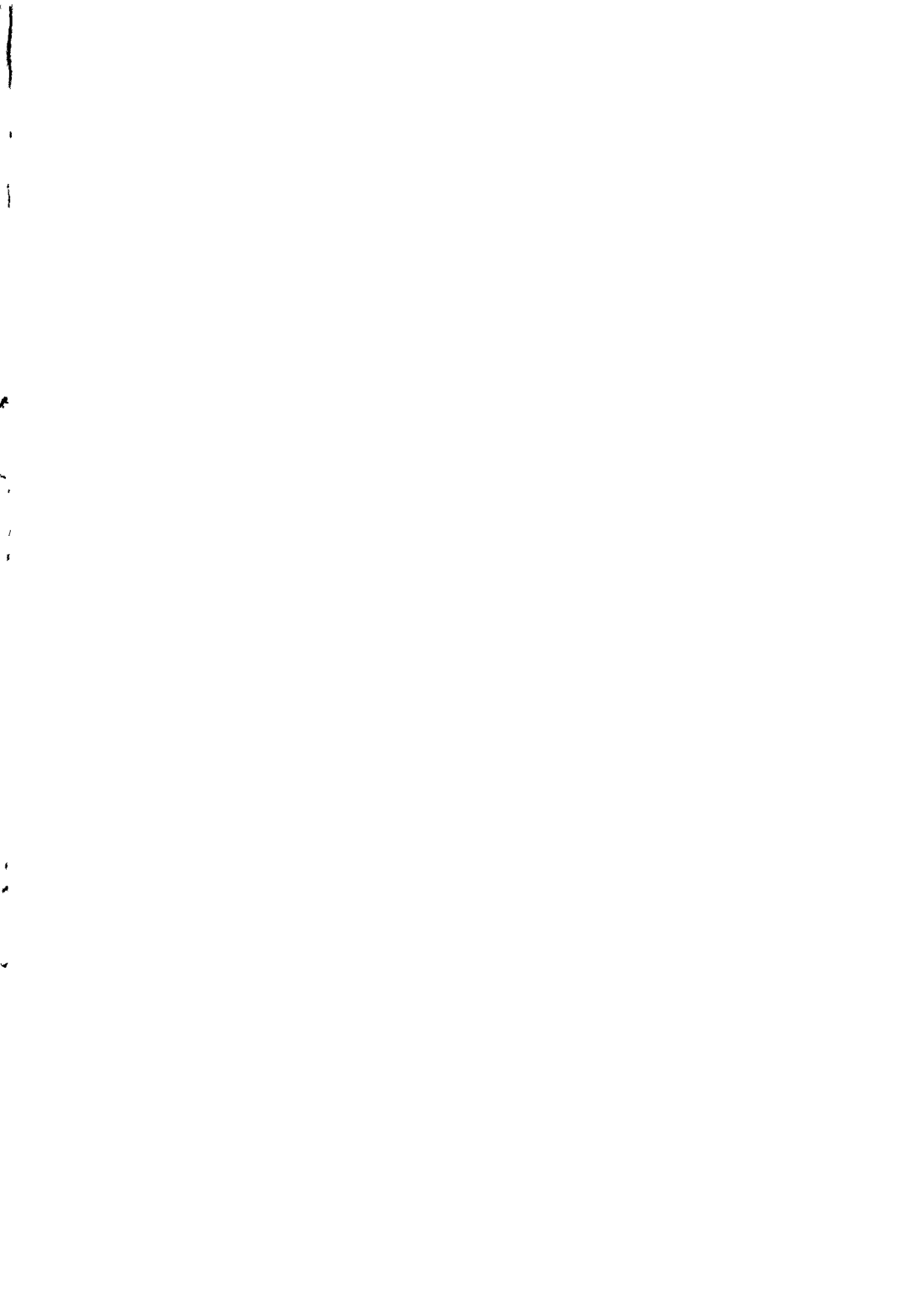
6. При залповом выбросе радионуклидов, которое могло возникнуть при аварии во время подъема, транспортировки или постановки в док АПК “Курск”, кратковременное повышение уровня радиации едва ли оказало какое-либо существенное воздействие на локальные донные сообщества, если оценка воздействия производилась бы сразу после аварии. Почти сразу на изменение радиационной обстановки отреагировали лишь мейобентос (мелкие донные организмы размером 0.1-3 мм), изменением биологического разнообразия и количественных характеристик. Крупные донные организ-

мы – макробентос – будут накапливать радионуклиды в своих организмах в течение какого-то послеварийного периода.

7. Перспективным методом экспресс-оценки экологического состояния морских донных осадков является применение метода биотестирования на основе определения интегральной токсичности поровых вод. Определение интегральной токсичности морских донных осадков в Кольском заливе и сопредельных водах Баренцева моря показало, что ее пространственное распределение характеризуется уменьшением по мере продвижения к открытой части моря. Следовательно, ее уровень определяется близостью к источнику загрязнения.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Алексеев Д.К. Оценка экологического состояния донных осадков Кольского залива Баренцева моря// Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов. – СПб.: изд. РГГМУ, 2002. – с. 65-70
2. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Алексеев Д.К. Оценка экологического состояния шельфовой зоны арктических морей России в условиях антропогенной нагрузки// Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. Международная научная конференция 15-17 октября 2002 г. Сборник трудов – СПб., изд. РГГМУ, 2004. - с. 43-48
3. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Алексеев Д.К. Оценка экологического состояния донных осадков Кольского залива Баренцева моря// Итоговая сессия Ученого совета. Тезисы докладов. - СПб.: изд. РГГМУ, 2000. - с. 127-128
4. Гальцова В.В., Алексеев Д.К. Влияние экологических факторов на распределение мелкой донной фауны окраинных морей российского сектора Арктики// Итоговая сессия Ученого совета. Тезисы докладов. - СПб.: изд. РГГМУ, 2001. - с. 161-163
5. Гальцова В.В., Алексеев Д.К. Оценка экологического состояния донных экосистем окраинных морей российского сектора Арктики// Итоговая сессия Ученого совета. Тезисы докладов. - СПб.: изд. РГГМУ, 2002. - с. 191-193
6. Denis K. Alexeev Ecological state of marine bottom ecosystems in marginal seas of the Russian Arctic// The Second AMAP International Symposium on Environmental Pollution of the Arctic: Extended Abstract. Rovaniemi, Finland. October 1-4, 2002. AMAP Report 2002:2. – P-X13
7. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Алексеев Д.К. Экологическое состояние прибрежной зоны арктических морей в условиях антропогенной нагрузки// Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. Международная научная конференция 15-17 октября 2002 г. Материалы конференции. – СПб., изд. РГГМУ, 2002. - с. 43
8. Denis K. Alexeev, Valentina V. Galtsova Ecological state of marine bottom ecosystems in marginal seas of the Russian Arctic// Fifth Workshop on Land Ocean Interactions in Russian Arctic (LOIRA). Moscow, Russia. November 12-15, 2002. – p. 5-6
9. Алексеев Д.К. Мейобентос и его использование для оценки экологического состояния арктических морей России// Седьмая Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов. Аннотации работ по грантам Санкт-Петербургского конкурса 2002 г. для студентов, аспирантов и молодых специалистов. – СПб: изд. СПбГУ, 2002. – с. 40-41



Подписано в печать 10. 04. 06. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Заказ № 858
Санкт-Петербург, ООО «АБЕВЕГА», Московский пр., д. 2/6
Лицензия на полиграфическую деятельность ПЛД № 69-299

2006A
8364

R - 8364