

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*На правах рукописи*

УДК 551.46, 062:651.3.06.(268.45)

**Моисеев Денис Витальевич**

**АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭКОСИСТЕМЕ  
БАРЕНЦЕВА МОРЯ И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
НА НЕЕ С ПОМОЩЬЮ ГИС**

Специальность 25.00.28 - "Океанология"

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Мурманск  
2005

Работа выполнена в Мурманском морском биологическом институте  
Кольского научного центра Российской академии наук

*Научный руководитель:* кандидат географических наук,  
доцент  
**Ионов Виктор Владимирович**

*Научный консультант:* доктор географических наук,  
член-корреспондент РАН  
**Матишов Дмитрий Геннадьевич**

*Официальные оппоненты.:* доктор географических наук  
**Бердников Сергей Владимирович**  
  
кандидат географических наук  
**Шилов Игорь Олегович**

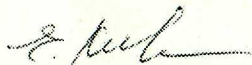
*Ведущая организация:* **Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН**

Защита состоится 24 декабря 2005 года в 11 часов на заседании  
диссертационного совета Д 002.140.01 при Мурманском морском  
биологическом институте Кольского научного центра Российской академии  
наук по адресу: 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, д.17.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ММБИ КНЦ  
РАН.

Автореферат разослан 23 ноября 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного  
совета Д 002.140.01,  
кандидат географических наук



Е.Э. Кириллова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Объект исследования и актуальность темы.

Баренцево море является крупнейшим шельфовым водоемом Европейской части Российской Федерации. В нем сосредоточены колоссальные биологические и минеральные природные ресурсы, нерациональное использование которых может привести к ухудшению состояния экосистемы моря. В то же самое время экосистема Баренцева моря изменяется вследствие природных процессов, среди которых особое место занимают резкие аномальные колебания характеристик среды и состояния биоты. Для ведения устойчивого природопользования и сохранения моря будущим поколениям необходимо объективное представление о современных тенденциях антропогенного и естественного изменения экосистемы моря. Получение такого знания возможно только при комплексном изучении всех элементов экосистемы представителями различных отраслей знания, которые, однако, "говорят на разных языках" своих специальностей и часто друг друга не понимают. Следовательно, необходимо иметь некие средства, делающие возможным активный междисциплинарный контакт. Одним из таких средств является технология географических информационных систем (ГИС).

Возможности использования ГИС в изучении российских морей реализованы для Белого, Азовского, Черного, Балтийского, Каспийского, Карского, Дальневосточных и Западно-Арктического шельфа морей (The White..., 1997-1998; ГИС "Азовское...", 2003; Аляутдинов, 1999; The Baltic Sea..., 1995-2001; Горюнова, Илюхина, 2004; ГИС Тихоокеанского..., 2000-2004; Иванов, 2002; Интеграция спутниковых..., 2005). Для изучения экосистемы Баренцева моря ГИС применялись в работах ПИНРО (Новиков, 2002; Новиков, Плотицына, 2003; 2004).

Мы рассматриваем Баренцево море как большую морскую экосистему (Large Marine..., 2003), состоящую из следующих блоков информации: среда, биота, антропогенное воздействие. Эти блоки являются предметом исследования теории морских экосистем, состоящей из океанографии и биоэкологии океана (Денисов, 2002). Концепция больших морских экосистем считается наиболее перспективным комплексным подходом к управлению биоресурсами, развиваемым за рубежом и в ММБИ (Матишов и др., 2005).

Необходимость в обобщении, представлении и анализе разнородной информации о большой морской экосистеме Баренцева моря на базе ГИС возникла в 1990-е гг. (Ионов и др., 1996). В настоящее время существуют электронные базы данных по отдельным блокам экосистемы Баренцева моря, таким как среда (Матишов и др., 1998, 2004; Golubev et al, 1999; Титов, Несветова, 2003), биота (Матишов и др., 2000), антропогенное воздействие



(Arctic Environmental..., 1999). Необходимо упомянуть про сделанные в ММБИ еще до широкого использования ГИС картографические обобщения и представления пространственно-распределенной информации об экосистеме Баренцева моря. К ним относятся следующие картографические материалы: "Баренцево море. Карта биологических ресурсов и антропогенного воздействия" (Barents Sea..., 1991); "Экологическая карта архипелага Новая Земля" (Ecology of Novaya..., 1992); "Уровни и основные направления переноса радионуклидов в Баренцевом и Карском морях" (Уровни и основные..., 1994); Геоэкологическая карта шельфа и берегов Баренцева и Карского морей (Геоэкологическая карта..., 2002). Однако, работ об изучении большой морской экосистемы Баренцева моря с помощью ГИС ни в литературе, ни в электронных ресурсах не обнаружено.

**Цель работы** - анализ природных процессов в большой морской экосистеме Баренцева моря и антропогенных воздействий на нее с помощью ГИС. В связи с этим были поставлены и решены следующие задачи:

- уточнение понятия "большая морская экосистема" применительно к Баренцеву морю;

- структурирование информации о большой морской экосистеме путем разделения на блоки, состоящие из присущих им компонентов;

- разработка методики изучения большой морской экосистемы Баренцева моря с помощью ГИС;

- получение с помощью ГИС научных и прикладных результатов изучения большой морской экосистемы Баренцева моря.

#### **Направления и методы исследований**

Для решения поставленных задач использовалось понятие "большая морская экосистема", системный подход и инструмент географических информационных систем.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Информацию о Баренцевом море как большой морской экосистеме целесообразно представлять в виде блоков: среда, биота и антропогенное воздействие.

2. На основе системного подхода к предмету исследования может быть разработана универсальная методика изучения БМЭ Баренцева моря средствами ГИС.

3. С помощью специально разработанной методики можно получить новые представления о природных процессах, происходящих в экосистеме Баренцева моря, и результатах антропогенных воздействий на нее.

#### **Новизна работы:**

Предложен универсальный, охватывающий все компоненты подход к изучению большой морской экосистемы средствами ГИС. На основании этого подхода разработана методика, благодаря которой получены новые

научные и прикладные результаты.

Впервые Баренцево море, рассматриваемое как большая морская экосистема, исследуется при помощи ГИС.

#### **Практическая значимость работы.**

Разработанная методика постоянно используется при решении прикладных задач изучения не только Баренцева, но и Белого, Азовского, Черного морей. Она позволяет оперативно пополнять базу данных и тем самым уточнять и детализировать тематические карты. Результаты применения методики для Баренцева моря представлены в следующих информационно-аналитических продуктах:

- целый ряд отчетов и научных публикаций (например, Матишов, Денисов, 1999; Матишов, Матишов, 2001; Environmental status..., 2003; Matishov, Matishov, 2004);

- интернет-ресурсы (например, Атлас химического..., 2003);

- лазерные диски (например, Матишов и др., 2002);

- многочисленные презентации аналитических докладов о состоянии большой морской экосистемы Баренцева моря.

С 1999 г. технология ГИС почти повсеместно используется в ММБИ при планировании и проведении морских экспедиционных исследований и экологического мониторинга.

#### **Апробация работы.**

ГИС в изучении Баренцева моря использовались при проведении фундаментальных и прикладных исследований по программам РАН, темам РФФИ, хоздоговорным и международным проектам.

По теме работы делались доклады на следующих научных мероприятиях:

- Конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, с 1998 по 2005 гг.

- Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность. Международная конференция, г. Мурманск 11-13 мая 2000 г.

- Современные проблемы биологии и экологии морей. 1-ая Всероссийская школа по морской биологии, г. Ростов-на-Дону, 16-18 октября 2001 г.,

- Наука и образование - 2003. Всероссийская научно-техническая конференция г. Мурманск, 2-16 апреля 2003 г.

Исследования проводились в рамках комплексного проекта N 2005-РИ-12.0/004 "Проблемно-ориентированные поисковые исследования фундаментального характера по приоритетным направлениям развития науки и техники в рамках подписанных межправительственных соглашений Российской Федерации по научно-техническому сотрудничеству с зарубежными странами".

**Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 22 печатных работы, список которых приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения. Список литературы и электронных ресурсов насчитывает 139 наименований, из которых 41 - на иностранных языках. Работа изложена на 166 страницах и включает в себя 80 рисунков и 15 таблиц.

**Благодарности.**

Автор выражает искреннюю признательность директору ММБИ академику РАН Г.Г. Матишову, научному руководителю - зав. каф. океанологии СПбГУ к.г.н. доценту В.В. Ионову и научному консультанту - члену-корреспонденту РАН Д.Г. Матишову, без помощи в проведении исследований, ценных советов и рекомендаций которых, написание данной работы было бы невозможно.

На разных этапах проведения исследований большую помощь диссертанту оказывали сотрудники ММБИ и других организаций: к.г.н. Г.В. Ильин, д.г.н. В.В. Денисов, гл. спец. В.А. Голубев, к.б.н. А.А. Кондаков, к.ф.-м.н. А.Н. Зуев, д.б.н. П.Р. Макаревич, д.г.н. С.Л. Дженюк, к.б.н. О.В. Карамушко, к.г.н. Е.Э. Кириллова, директор ИВПС КарНЦ РАН д.г.н. Н.Н. Филатов.

Всем им автор приносит искреннюю благодарность.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели и задачи, дана оценка новизны и практической значимости полученных результатов, приведена краткая характеристика диссертационной работы.

**В первой главе** дается общая характеристика возможностей инструмента географических информационных систем в изучении морских экосистем, а также кратко описываются известные ГИС о морях, омывающих территорию Российской Федерации.

Как известно, географическая информационная система - это организованный набор аппаратных и программных средств, географических данных, предназначенный для эффективного получения, хранения, обновления, обработки, анализа и визуализации всех видов географически привязанной информации. С помощью ГИС могут быть выполнены определенные сложные пространственные операции, которые иначе были бы очень сложны, длительны по времени или непрактичны с какой-либо другой точки зрения. В настоящее время технология ГИС является одной из наиболее обширных сфер применения компьютерных средств.

Инструмент ГИС позволяет собрать воедино и проанализировать разнородную, на первый взгляд мало связанную между собой информацию, получить основанный на массовом фактическом материале обобщенный взгляд на предмет исследования, качественно и количественно проанализировать взаимные связи между характеризующими его параметрами и происходящими в нем процессами.

В литературных источниках и в сети Интернет удалось отыскать информацию о следующих ГИС российских морей.

ГИС "Атлас окружающей среды Белого моря" (The White Sea's..., 1997-1998).

ГИС "Азовское море" (ГИС "Азовское...", 2003).

ГИС "Атлас окружающей среды Балтийского моря" (Baltic Environmental Atlas) (The Baltic Sea..., 1995-2001).

ГИС "Геоэкология Западно-Арктического шельфа" (Иванов, 2002).

ГИС "Дальневосточные моря России и северо-западная часть Тихого океана" (ГИС Тихоокеанского..., 2000-2004).

Цифровые тематические отраслевые карты Баренцева и Белого морей (Новиков, 2002) и Эколого-рыбохозяйственный аннотированный атлас Баренцева моря (Новиков, Плотичина, 2003; 2004).

ГИС "Черное море" (Аляутдинов, 1999).

Эколого-токсикологический атлас Каспийского моря (Горюнова, Илюхина, 2004) и комплексные базы эколого-рыбохозяйственных данных для Печорского и Белого морей (Горюнова, 2004).

Морская информационная система "Карское море" (Интеграция

спутниковых..., 2005).

Каждая из перечисленных ГИС решает круг определенных задач, характеризуется разной степенью информативности, обладает определенными преимуществами и недостатками по отношению друг к другу. Их можно условно разделить на 2 типа:

*1 тип.* К нему относятся те ГИС, которые включают в себя, в основном, набор оцифрованных карт. Из перечисленных выше к ним можно отнести ГИС Белого и Азовского морей.

*2 тип.* В этих ГИС помимо оцифрованных карт существует большое число тематических слоев, созданных на основе данных наблюдений, статистической и архивной информации. К ним относятся все остальные из перечисленных выше ГИС.

**Во второй главе** раскрывается понятие большой морской экосистемы (БМЭ) применительно к Баренцеву морю. Рассматриваются блоки, из которых состоит БМЭ Баренцева моря.

БМЭ - это особенный район Мирового океана, характеризующийся специфическими батиметрией, гидрографией, продуктивностью и трофически зависимыми популяциями. БМЭ занимают площади порядка 200 тыс. км<sup>2</sup> и более на территориях, простирающихся от речных бассейнов и эстуариев до морских границ континентальных шельфов и систем прибрежных течений. БМЭ подвержены следующим всевозрастающим отрицательным антропогенным воздействиям: растущая эксплуатация рыбных и других биологических ресурсов, разрушение береговой зоны, речной сток со всей площади водосборного бассейна, сброс коммунальных отходов, выпадение аэрозольных загрязнений (Large Marine..., 2003).

В терминах К. Шермана - основателя теории о больших морских экосистемах - (Large Marine..., 2005) БМЭ состоят из 5 модулей (рис. 1): (1) продуктивность, (2) рыба и рыбный промысел, (3) загрязнение и общее состояние экосистемы, (4) социально-экономический, (5) управление.

Учитывая направления научной деятельности ММБИ, для нас наиболее интересными являются первые 3 модуля. Они могут быть интерпретированы в более привычной форме, как 3 блока экосистемы: среда, биота и антропогенное воздействие (рис. 1). Каждый блок содержит присущие ему компоненты.

**Блок "Среда".** В работе даны общепринятые границы Баренцева моря по (Атлас океанов, 1980 б). Границы БМЭ Баренцева моря соответствуют общепринятым границам только на юге и востоке. Западная и северная границы БМЭ Баренцева моря должны быть проведены по кромке шельфа - соответственно по меридиану 16° 30' (от м. Зюйдкап до норвежского побережья) и по параллели примерно 82° (Матишов и др., в

печати). Приводятся морфометрические характеристики (табл. 1), описывается рельеф дна и донные осадки моря. Дается краткая характеристика климата, гидрологического режима и гидрохимических условий. При этом особый акцент делается на характеристике гидрологического режима, т.к. этому компоненту уделено значительное внимание в главе 4.

**Блок "Биота".** Баренцево море является одним из самых продуктивных шельфовых водоемов не только в нашей стране, но и в мире. По оценкам (Романкевич и др., 1982; Романкевич, Ветров, 2001) первичная продукция фитопланктона в Баренцевом море достигает  $55 \times 10^6$  т C<sub>орг</sub> или 0.3 % от общей продукции Мирового океана. Значительную роль в первичном продуцировании Баренцева моря играет бактериопланктон (Экология и биологическая..., 1990). Приводятся продукционные параметры БМЭ Баренцева моря, перечислены некоторые особенности жизни гидробионтов в море. По литературным данным определено количество видов для большинства групп организмов, обитающих в Баренцевом море (табл. 2).

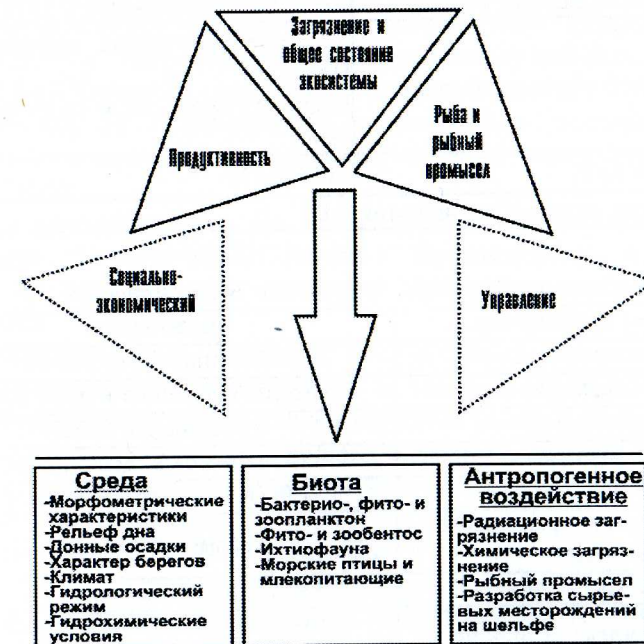


Рис. 1. Переход от модулей большой морской экосистемы (Large Marine..., 2003) к блокам БМЭ Баренцева моря

Таблица 1

Некоторые характеристики Баренцева моря в общепринятых границах

Площадь моря ( $S_1$ )	1417 тыс. км <sup>2</sup> (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990)
Объем воды	282 тыс. км <sup>3</sup> (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990)
Средняя глубина	199 м (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990)
Максимальная глубина	513 м (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990), более 600 м в проливах архипелага Земля Франца-Иосифа (Атлас океанов, 1980 а)
Соленость	30-35 ‰ (Алекин, Ляхин, 1984)
Площадь водосборного бассейна ( $S_2$ )	668 тыс. км <sup>2</sup> (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990)
Речной сток	263 км <sup>3</sup> /год (Иванов, 1976)
Выпадение атмосферных осадков	733 км <sup>3</sup> /год (Романкевич, 1977)
Период полного обновления вод	5.9 года (расчетная величина по: Потанин и др., 1989; Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990)
Соотношение $S_2/S_1$	~1/2 (0.47)
Выпадение атм. осадков/ речной сток	2.8/1

Таблица 2

Видовое разнообразие экосистемы Баренцева моря

группы организмов	число видов
фитопланктон	310 (Матишов и др., 2000 б)
зоопланктон	более 200 (Матишов и др., 2000 б)
фитобентос	194 (Зинова, 1962)
зообентос	3245 (Список видов..., 2001)
рыбы	176 (Карамушко, в печати)
рыбы, имеющие промысловое значение	23 (Карамушко, в печати)
морские птицы	24 (Краснов и др., 1995)
морские млекопитающие	7 - ластоногие (Кондаков, Зырянов, 1999) 12 - китообразные (Матишов, 1999)
млекопитающие	2 - белый медведь, песец (Матишов, Денисов, 1999)
<b>всего</b>	<b>свыше 4190</b>

Блок "Антропогенное воздействие". Здесь перечислены и рассмотрены основные 7 факторов загрязнения и разрушения экосистемы Баренцева моря по (Матишов, 1988; 1989; 1990; Матишов, Денисов, 1999): (1) перелов гидробионтов рыбодобывающей и зверобойной промышленностью; (2) пневмовзрывы (гидроудары, электроразряды) геофизической разведки и кавитация гребных винтов кораблей, судов в фотическом слое моря; (3) загрязнение водоема нефтепродуктами, льяльными водами, мусором, ядохимикатами с кораблей и судов; (4) нефтепродукты, ядохимикаты, мусор, тяжелые металлы, приносимые в море с запада Нордкапским течением (влияние Гольфстрима); (5) химическое, микробиологическое загрязнение бытовых и промышленных стоков побережья; (6) радиоактивный фон атомных судов, полигона Новой Земли, сброса в море заводских радиоактивных отходов; (7) вселение камчатского краба.

В третьей главе рассматривается разработанная методика изучения БМЭ Баренцева моря с помощью ГИС.

Проще всего методику изучения БМЭ Баренцева моря с помощью ГИС представить блок-схемой, показанной на рисунке 2. На этой схеме к 3-м основным блокам БМЭ Баренцева моря добавлен блок "метаданные" или "данные о данных", являющийся неотъемлемой частью любой полноценной ГИС. Этот блок состоит из следующих компонентов (рис. 2):

1. Информация об экспедициях и дистанционном зондировании. В имеющейся базе данных накоплена информация об экспедициях ММБИ, начиная с 1995 г.
2. Фото- и видеоматериалы. На основе фотоснимков был скомпонован лазерный диск "Клипарт ММБИ. Версия 1". Видеоматериалы, в основном, хранятся на видеокассетах стандарта VHS. Из них монтируются видеофильмы.

В общем случае обработку, представление, анализ природных процессов и антропогенных воздействий на большую морскую экосистему Баренцева моря можно описать в виде следующих этапов (рис. 2):

1. Постановка задачи исследования БМЭ Баренцева моря. От правильной постановки задачи, в первую очередь, зависит быстрота и точность создания информационных продуктов.
2. Поступление оцифрованной информации в соответствующие блоки. В зависимости от поставленной задачи необходимая для ее решения информация поступает в блоки как из материалов экспедиционных исследований, дистанционного зондирования, так и из литературных источников, бумажных и электронных карт и атласов.
3. Контроль данных. Корректное представление информации в итоговых информационных продуктах возможно лишь после проверки данных,

занесенных в базу, на наличие случайных ошибок, дубликатов, правильности координат, унификации размерности величин, попадание в диапазон измерений и т. д.



Рис. 2. Блок-схема обработки, представления и анализа природных процессов в БМЭ Баренцева моря и антропогенных воздействий на нее

4. *Наполнение данными СУБД и ГИС.* Данные, прошедшие контроль попадают либо в содержательную (атрибутивную) базу данных, составляемую на основе реляционных систем управления базами данных (СУБД), а потом в географическую (картографическую) базу данных на основе ГИС-программ, либо сразу оказываются в ГИС-проектах.

5. *Визуализация данных на картографической основе в ГИС.* Производится в ГИС-программах по географическим координатам или другими способами на готовой или специально оцифрованной картографической основе.

6. *Проведение операций пространственного анализа географически привязанных данных.* Можно использовать такие инструменты пространственного анализа как полигональные операции, анализ близости, функции картографической алгебры и цифровое моделирование рельефа (Изучение ГИС..., 1995).

7. *Обработка фото- и видеоматериалов из блока метаданных* при помощи программ обработки изображений. Фотоснимки объединяются в библиотеки цифровых изображений, а на основе видеосъемок монтируются фильмы.

8. *Получение первичных информационных продуктов,* к которым относятся не только карты, но, также диаграммы, схемы, графики и фото-видеоальбомы, т.е. любая информация, адекватно отражающая наши представления о морских экосистемах.

9. *Анализ первичных информационных продуктов.* Эксперты из различных отраслей наук о море делают анализ полученных тематических карт, схем, диаграмм, графиков, фото- и видеоальбомов.

10. *Создание информационно-аналитических продуктов.* В течение 1998-2005 гг. первичные информационные продукты использовались для создания следующих информационно-аналитических продуктов:

- научные публикации и технические отчеты;
- интернет-ресурсы;
- лазерные диски;
- презентации аналитических докладов о состоянии экосистемы Баренцева моря.

11. *Принятие решений.* На основе анализа информационно-аналитических продуктов можно принимать решения в самых разных областях деятельности. Это и разработка различных природоохранных мероприятий, программ мониторинга и т.п., и совершенствование методов исследования, и постановка новых задач изучения морских экосистем.

Последовательность выполнения этапов может меняться в зависимости от поставленной задачи.

В четвертой главе изложены наиболее значимые и наглядные научные и прикладные результаты изучения БМЭ Баренцева моря с помощью ГИС.

Аномалии термохалинных характеристик водных масс на стандартных разрезах Баренцева моря (по данным исследований ММБИ в 1999-2005 гг.)

Изучение аномалий термохалинных характеристик водных масс является одним из основных направлений современной физической океанографии. Резкие климатические аномалии имеют особую значимость для функционирования морских экосистем. Именно в эти периоды происходит рассогласование трофических и других внутриэкосистемных отношений (Матишов, Денисов, 1999).

В этом разделе рассмотрены аномалии термохалинных характеристик, рассчитанные по данным экспедиций ММБИ, проведенных в феврале, апреле, июле-октябре 1999-2005 гг. Описаны аномалии температуры и солености воды на станциях следующих стандартных разрезов: VI (участок между  $69^{\circ} 30'$  и  $74^{\circ}$  с.ш.), XXIX (3 станции), XIX (8 станций), XXVIII (3 станции), XVIII (1 станция) и X (1 станция) (рис. 3).

Все данные для расчета аномалий получены при помощи СТД-профилирования. В 1999 и 2000 гг. использовался СТД-зонд ME ECO-Metody германского производства, в 2001-2004 гг. - американский СТД-зонд SEACAT SBE 19 и в 2005 г. - SEACAT SBE 19plus. Соискатель лично участвовал в многочисленных морских экспедициях, где осваивал и вводил в эксплуатацию новые океанографические приборы, совершенствовал методы производства наблюдений и обработки данных.

Для расчета аномалий взяты нормы температуры и солености, рассчитанные сотрудниками ММБИ В.А. Голубевым и А.Н. Зуевым по методике, описанной в (Голубев и др., 1989; 1992; Голубев, Зуев, 2004) и данным из Климатического атласа морей Арктики (Матишов и др., 2004; Зуев).

Построены профили распределения аномалий температуры и солености, диаграммы средних взвешенных значений аномалий по слоям 0-50 м, 0-100 м, 150-200 м, 0-200 м, 0-дно (дно - максимальная глубина погружения зонда). Расчет осредненных по вертикали характеристик климатических аномалий использован для того, чтобы уменьшить информационный шум (Матишов и др., 2000 а).

По полученным данным можно проследить межсезонную и межгодовую изменчивость аномалий температуры и солености воды на стандартных разрезах в 1999-2005 гг.

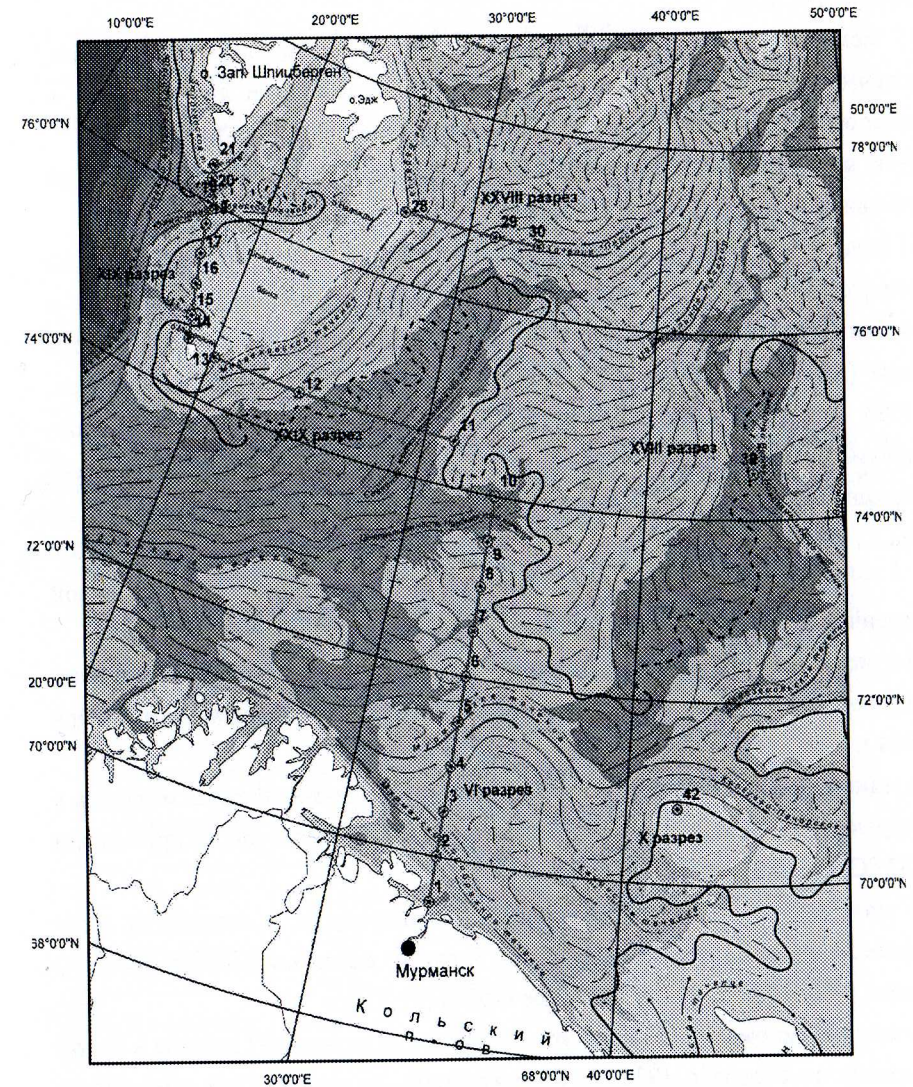


Рис. 3. Станции стандартных разрезов, выполненные в экспедициях ММБИ в 1999-2005 гг. Батиметрическая основа по (Matishov, 1997). Схема поверхностных течений по (Танцора, 1959; Новицкий, 1961)



Для всех описанных в работе стандартных разрезов можно сделать следующие выводы:

- 1) использование современных гидрозондов позволяет более точно рассчитывать интегральные характеристики аномалий температуры и солености воды, такие как их средние взвешенные значения по слоям;
- 2) по величине и знаку аномалий на стандартных разрезах можно судить об изменчивости циркуляции вод в Баренцевом море;
- 3) прослеживается взаимосвязь между аномалиями температуры воды поверхностного слоя, полученными в ходе наших исследований, и рассчитанных по данным анализа глобальной температуры поверхности моря (SST - Sea Surface Temperature) (Reynolds, 1988; Reynolds, Marsico, 1993). Как по нашим данным, так и по данным анализа SST аномалии одинакового знака локализованы на поверхности Баренцева моря сходным образом. Сведения о SST можно найти в сети Интернет (например, OI v2 Sea..., 2005).

Сформулируем, также, выводы по межсезонной и межгодовой изменчивости аномалий температуры и солености воды на VI разрезе:

- 1) в межсезонной динамике аномалий был отмечен рост величин аномалий температуры воды от апреля до июля-августа 2001 г. и от июля до сентября 2004 г.
- 2) минимальные значения аномалий температуры и солености отмечались в феврале 1999 г. (табл. 3, рис. 4). Тогда аномалии температуры не превышали 0.37 °С, а солености - 0.05 ‰;
- 3) максимальные значения аномалий температуры и солености воды зарегистрированы в июле 2004 г. (табл. 3, рис. 4), когда они достигали 2.63 °С в слое 0-50 м (ст. 7) и 0.44 ‰ в слое 0-50 м (ст. 1);
- 4) значения аномалий температуры и солености воды на VI разрезе в целом выросли за период с 1999 по 2005 гг. (табл. 3, рис. 4). Это может быть совместным результатом изменения характера атмосферной циркуляции и океанической адвекции атлантических вод в Евро-Арктический регион, что влияет на водный баланс и ледовитость Баренцева моря (по Матишов и др., 2000 а).

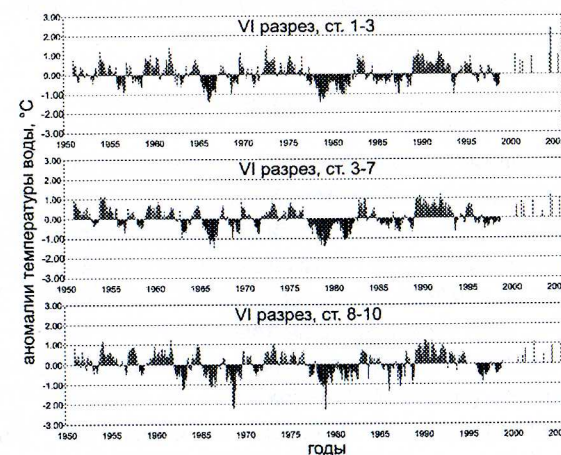


Рис. 4. Среднемесячные аномалии температуры воды в слое 0-200 м на станциях VI разреза Баренцева моря (Матишов и др., 2000 а; Терещенко, 1999). В правой части диаграммы добавлены аномалии температуры с 1999 по 2005 гг., рассчитанные в данной работе.

Таблица 3

Сравнительные характеристики средневзвешенных в слоях аномалий температуры и солености воды на VI разрезе в 1999-2005 гг.

Период наблюдений	Аномалии средневзвешенной температуры воды, °С		Аномалии средневзвешенной солености воды, ‰	
	мин.	макс.	мин.	макс.
2-3 февраля 1999 г.	-0.53 в слое 150-200 м (ст. 3)	0.37 в слое 0-50 м (ст. 3)	-0.19 в слое 150-200 м	0.05 в слое 0-50 м на ст. 1
28-31 сентября 2000 г.	-0.18 в слое 150-200 м (ст. 8)	1.55 в слое 0-100 м (ст. 1)	-	-
18-21 апреля 2001 г.	0.07 в слое 150-200 м (ст. 9)	1.29 в слое 150-200 м (ст. 7)	-0.19 в слое 0-100 м (ст. 4)	0.13 в слое 0-50 м (ст. 1)
31 июля-2 августа 2001 г.	0.28 в слое 0-дно (ст. 2)	1.67 в слое 0-50 м (ст. 1)	-0.27 в слое 0-50 м (ст. 3, 4)	0.16 в слое 0-50 м (ст. 1)
20-23 июля 2002 г.	0.28 в слое 150-200 м (ст. 7)	2.15 в слое 0-50 м (ст. 1)	-0.29 в слое 0-50 м (ст. 5)	0.15 в слое 0-50 м (ст. 1, 9, 10)
7-9 августа 2003 г.	-0.33 в слое 0-50 м (ст. 7)	1.74 в слое 0-50 м (ст. 7)	-0.36 в слое 0-50 м (ст. 10)	0.21 в слое 0-50 м (ст. 6)
14-17 июля 2004 г.	-0.64 в слое 150-200 м (ст. 8)	2.63 в слое 0-50 м (ст. 7)	-0.09 в слое 150-200 м (ст. 8)	0.44 в слое 0-50 м (ст. 1)
16-18 сентября 2004 г.	0.55 в слое 150-200 м (ст. 7)	2.52 в слое 0-100 м (ст. 1)	-0.06 в слое 0-100 м (ст. 1)	0.11 в слое 150-200 м (ст. 1)
26 - 29 июля 2005 г.	0.32 в слое 150-200 м (ст. 1)	1.60 в слое 0-50 м (ст. 1)	-0.13 в слое 0-50 м (ст. 3)	0.18 в слое 0-50 м (ст. 10)

Отображение данных по рыбопромысловым квадратам с помощью адресного геокодирования.

В отделе антропогенной экологии ММБИ были оцифрованы рыбопромысловые районы и квадраты Баренцева моря. Каждый рыбопромысловый квадрат представляет собой полигон, которому присвоено его общепринятое цифровое обозначение или код-адрес.

Большая часть архивной информации о гидробионтах, к сожалению, не имеет точных географических координат. Эти данные привязаны к номеру рыбопромыслового квадрата. Для тематического картирования таких данных можно воспользоваться методом геокодирования, имеющимся в арсенале настольной ГИС ArcView. Адресное геокодирование в ArcView - это создание темы (слоя), основанного на адресных данных. В нашем случае адресом является номер рыбопромыслового квадрата.

В работе приведен пример отображения данных по рыбопромысловым квадратам с помощью адресного геокодирования - уровни  $^{90}\text{Sr}$  в костных тканях трески в Баренцевом море. Данные о содержании  $^{90}\text{Sr}$  в тканях трески не имеют географических координат, они привязаны к номерам промысловых квадратов Баренцева моря.

Картирование встречаемости белого медведя, морских птиц и млекопитающих по трассе Севморпути.

С 1996 г. ММБИ проводит наблюдения белых медведей, морских птиц и млекопитающих по трассе Севморпути с борта атомных и дизель-электроходных ледоколов Мурманского морского пароходства. В 1997 г. было начато картирование встречаемости указанных животных.

Для того чтобы показать силуэты животных в местах их встреч на карте, при помощи специального программного обеспечения был создан TTF-шрифт под названием "Bear". С его помощью на картах отображены следующие животные: белый медведь, атлантический морж, кольчатая нерпа, гренландский тюлень, морской заяц, следы белого медведя, белуха, кайра.

На первый взгляд может показаться, что карты встречаемости животных показывают только лишь их распределение вдоль маршрута движения ледокола. Однако же, такие карты позволяют выявлять некоторые закономерности распределения животных на акватории моря в ледовый период. Например, отмечена зависимость численности белых медведей от ледовых условий, выявлены закономерности в направлении следовых цепочек этих млекопитающих (Матишов и др., 2000 в)

Такие карты, сделанные с помощью ГИС, очень наглядно иллюстрируют возможности и результаты исследований белого медведя, морских птиц и млекопитающих по трассе Севморпути. Они использовались в многочисленных презентациях, публикациях и отчетах ММБИ,

посвященных наблюдениям с ледоколов ММП по трассе Севморпути (Матишов, Воронцов и др., 1999; Матишов и др., 2000 в).

Атлас химического и радиоактивного загрязнения Баренцева моря.

Знание уровней загрязнения элементов БМЭ Баренцева моря химическими загрязнителями и радионуклидами необходимо для правильной оценки степени дестабилизации экосистемы и выработки стратегии устойчивого развития региона. С этой целью в ММБИ в 1999 г. начата работа над серией атласов химического и радиоактивного загрязнения Баренцева моря. В сентябре 2002 г. в рамках проекта "Эколого-геохимические исследования российских арктических морей" Федеральной целевой программы "Мировой океан" в отделе антропогенной экологии ММБИ под руководством Д.Г. Матишова автором при участии Г.В. Ильина был создан "Атлас химического и радиоактивного загрязнения Баренцева моря. Выпуск 1. Загрязнение донных отложений".

В него вошли карты по следующим загрязнителям донного осадка, представительно освещающим состояние экосистемы:

1. Химические загрязнители (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, ΣДДТ, ГХБ, ΣГХЦГ, ΣПХБ-7, ΣПАУ).
2. Радионуклиды ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ).

Источниками информации о концентрациях загрязнителей послужили данные экспедиционных исследований ММБИ и др. организаций, литература (Arctic Environmental..., 1999) за период с 1991 по 2001 гг. В Атлас вошли данные анализов почти 2000 проб на химическое и радиоактивное загрязнение.

За основу при создании интервалов картографической легенды для химических загрязнителей была взята уже проверенная международной практикой в арктическом регионе система классификации загрязняющих веществ в морских донных отложениях Норвежского управления по контролю за загрязнением "The Norwegian Pollution Control Authority (SFT)" (Molvaer et al., 1997).

Интервалы для представления радионуклидов разработаны с учетом опыта создания карт для монографии (Матишов, Матишов, 2001).

Карты создавались при помощи ГИС ArcView на картографической основе из Digital Chart of the World, ESRI World (суша) и GEBCO 97 (батиметрия). Для тематического картографирования были выбраны 3 района Баренцева моря:

1. Побережье от Варангер-фьорда до м. Териберский.
2. Юго-восточная часть Баренцева моря (Печорское море).
3. Центральный район.

Окончательный набор обновляемых электронных карт химического

и радиоактивного загрязнения донных осадков Баренцева моря, скомпонован в виде веб-сайта. Атлас записан на лазерный диск (Матишов и др., 2002) и размещен в сети Интернет по адресу - <http://pollution.mmbi.info> (Атлас химического..., 2003). Он представляет интерес специалистам, занимающимся экологическими проблемами Баренцева региона, в том числе студентам и преподавателям ВУЗов, изучающим проблемы экологии арктических морей.

Отчет "Состояние окружающей среды береговой зоны от Варангер-фьорда до м. Териберский" (Environmental Status of the Varanger - Kola Coastal Area)

В 2001-2003 г. в рамках проекта, финансируемого Баренц Секретариатом, был подготовлен и издан отчет о состоянии окружающей среды наиболее населенной и подверженной антропогенному прессу береговой зоны Баренцева моря, простирающейся от Варангер-фьорда до м. Териберский (Environmental status..., 2003). В работе над отчетом принимали участие специалисты из следующих организаций России и Норвегии: Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманское территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Норвежская геологическая служба, Akvaplan-niva. Ведущей организацией выступала норвежская Akvaplan-niva.

Основная цель создания отчета - это предоставление хорошо документированного, высококачественно обеспеченного знания об окружающей среде, которое может помочь в следующем:

1. Информационная поддержка региональных властей в достижении максимально доступного понимания состояния окружающей среды.
2. Развитие сегодняшних успешных инициатив по восстановлению окружающей среды в будущем.
3. Обеспечение развития необходимых для данного региона программ мониторинга окружающей среды на базе международных норм.

Для выполнения указанной цели в отчете в виде карт, диаграмм и описаний к ним собрана информация об источниках и уровнях химических загрязнителей и искусственных радионуклидов в почвах, в морской воде, в донном осадке и в биоте по данным, собранным разными организациями в течение 1990-2002 гг. В дополнение к данным о загрязнителях в отчете собрана и представлена географическая информация о районе исследования. Она содержит карты и описания инфраструктуры, поселений, биологических ресурсов и охраняемых территорий береговой зоны от Варангер-фьорда до м. Териберский.

При создании карт отчета автором использовались те же принципы, что и в (Матишов и др., 2002; Атлас химического..., 2003), но в более широком аспекте в связи с необходимостью картирования уровней

загрязнителей не только в донном осадке, но и в почвах, морской воде и биоте. Электронную версию этого отчета можно скачать с Интернет-сайта Akvaplan-niva (<http://www.akvaplan.niva.no>).

Такие атласы и отчеты позволяют показывать реальное состояние окружающей среды и служат для правильной оценки ее текущего состояния и выработки путей по уменьшению стресса на прибрежные и морские экосистемы. Работа по созданию следующих версий атласов и новых отчетов будет и в дальнейшем проводиться в ММБИ.

Экологический мониторинг в районах месторождений углеводородного сырья на шельфе Баренцева моря.

ММБИ регулярно проводит экологический мониторинг в районах месторождений углеводородного сырья на шельфе Баренцева моря. При проведении мониторинга на разных его этапах проводятся операции сбора, представления, обработки и анализа разнородной пространственно-распределенной информации о морских экосистемах, которые невозможно эффективно проводить без помощи ГИС. Технологии ГИС активно использовались при выполнении следующих проектов:

1. Инженерно-экологические изыскания в Печорском и Баренцевом морях в районе проектируемых трасс подводного трубопровода и строительной площадки нефтеналивного терминала у п. Варандей (2001 г.).
2. Инженерно-экологические изыскания под строительство объектов обустройства Штокмановского газоконденсатного месторождения (морские изыскания) (2003, 2005 гг.).

Использование ГИС начиналось уже на стадии планирования расположения станций мониторинга. Станции были расставлены на одинаковом расстоянии друг от друга по разрезу вдоль проектируемых трасс подводного трубопровода.

После проведения экспедиционных исследований, сбора и контроля первичной информации данные по различным блокам были представлены на картографической основе в виде тематических карт, иллюстрирующих распределение гидрофизических (температура, соленость) и гидрохимических (соединении фосфора, нитраты, нитриты, кремний) параметров водной среды, количественные и структурные характеристики фито-, зоопланктона, зообентоса, уровни различных антропогенных загрязнителей (углеводороды, тяжелые металлы, радионуклиды) в воде (растворенном состоянии), во взвеси и осадках, а также в биологических объектах, распределение морских птиц и млекопитающих.

На следующем этапе специалисты Института использовали эти тематические карты при анализе данных по различным компонентам экосистемы и дальнейшем написании соответствующих разделов технических отчетов.

*Основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, состоят в следующем:*

1. Доступную автору разнородную информацию о Баренцевом море удалось представить в виде блоков большой морской экосистемы: среда, биота и антропогенное воздействие.
2. На основе системного подхода к объекту исследования разработана универсальная методика изучения БМЭ Баренцева моря средствами ГИС.
3. С помощью разработанной автором методики получены следующие наиболее значимые научные и прикладные результаты анализа природных процессов, происходящих в экосистеме Баренцева моря, и антропогенных воздействий на нее:
  - взаимосвязь между аномалиями температуры воды поверхностного слоя, полученными в ходе наших исследований и рассчитанными по данным анализа температуры поверхности моря выражается в том, что и по нашим данным, и по данным анализа SST аномалии одинакового знака локализованы на поверхности Баренцева моря сходным образом;
  - значения аномалий температуры и солёности воды на VI разрезе в целом выросли за период с 1999 по 2005 гг.;
  - минимальные значения аномалий температуры и солёности воды зарегистрированы в феврале 1999 г., а максимальные - в июле 2004 г.;
  - создана и используется в исследованиях база геокодов для отображения разнообразной информации, привязанной к рыбопромысловым квадратам Баренцева моря;
  - по данным исследований ММБИ 1996-2004 гг. составлены карты встречаемости белого медведя, морских птиц и млекопитающих по трассе Севморпути;
  - созданные с участием автора атласы и отчеты о химическом и радиоактивном загрязнении элементов экосистемы Баренцева моря подтверждают выводы о том, что угрозы радиоактивного загрязнения большой морской экосистемы Баренцева моря не существует (Матишов, Матишов, 2001), и в открытой экосистеме Баренцева моря степень накопления химического загрязнения в среде и биоте очень низкая (Матишов, 1992; Матишов и др. 1994; Химические процессы..., 1994).
4. Средства ГИС действительно являются важнейшим инструментом для комплексного представления разнообразной информации при проведении экологического мониторинга промышленных проектов по освоению нефтегазовых месторождений на шельфе Баренцева моря.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Моисеев Д.В. Подготовка информации для пространственного анализа в среде ArcView GIS Version 3.0a. // Материалы научной сессии молодых ученых Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН (апрель 1998 г.). Мурманск: ООО "МИП-999", 1998, С. 73-78.
2. Моисеев Д.В. Представление различных видов экологической информации при помощи геоинформационных технологий. // Современные технологии и прогноз в полярной океанологии и биологии. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999, С. 27-35.
3. Моисеев Д.В. Океанографические признаки похолодания в Западной Арктике. // Материалы конференции молодых ученых ММБИ, посвященной 275-летию РАН. г. Мурманск, май, 1999 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 1999, С. 81-87.
4. Матишов Г.Г., Берестовский Е.Г., Матишов Д.Г., Намятов А.А., Моисеев Д.В., Бронников И.В. Биоокеанографические признаки похолодания в Западной Арктике. // Докл. РАН. 1999. т. 368. № 2. С. 254-258.
5. Кондаков А.А., Зырянов С.В., Моисеев Д.В., Хруцкий В.М., Кочуркин А.Ф., Соколов В.Г. Результаты учетных работ обыкновенного тюленя (*Phoca vitulina*) на Мурманском побережье Баренцева моря в 1998 г. // VI съезд териологич. общ., 13-16 апреля 1999 г., Москва. М., 1999. С. 123.
6. Моисеев Д.В. База радиоэкологических данных ММБИ. // Материалы конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной 65-летию МБС-ММБИ (г. Мурманск, март 2000 г.) - Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2000, С. 49-51.
7. Моисеев Д.В. Возможности ГИС-технологий в изучении радиационного загрязнения морских экосистем Норвежского, Белого, Баренцева, Карского, Лаптевых и Азовского морей. // Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность: Тез. докл. междунар. конференции (г. Мурманск, 11-13 мая 2000 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2000, С. 103-105.
8. Матишов Г.Г., Дружков Н.В., Намятов А.А., Марасаева Е.Ф., Ларионов В.В., Моисеев Д.В., Бронников И.В., Ишкулова Т.Г. Формирование центров ранневесеннего цветения фитопланктона в Кольском заливе. // Докл. РАН. 2000. Т. 375, № 1. С. 137-141.
9. Моисеев Д.В. Океанографическая характеристика вод Кольского залива по

результатам съемки на ГС-440 (27-30 июня 2000 г.). // Материалы конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, проводимой в рамках Всероссийской акции "Дни защиты от экологической опасности" (г. Мурманск, апрель 2001 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2001 г. С. 61-64.

10. Моисеев Д.В. Представление различных видов экологической информации при помощи геоинформационных технологий. // Современные проблемы биологии и экологии морей. 1-ая Всероссийская школа по морской биологии. Тез. докл. (г. Ростов-на-Дону, 16-18 октября 2001 г.). Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2001. С. 50-57.

11. Моисеев Д.В. Геоинформационная система "Большая морская экосистема Баренцева моря". // Материалы XX юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, (г. Мурманск, апрель 2002 г.). - Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2002. С. 103-110.

12. Savinova T., Carroll J., Jensen H., Matishov D., Ijlin G., Moiseev D., Dzhenyuk S., Mokrotovarova O. Environmental Status of the Varanger - Kola Coastal Area. Akvaplan-niva Report No APN-414.2127., 2003. 205 P.

13. Моисеев Д.В. Атлас химического и радиоактивного загрязнения Баренцева моря. Выпуск 1. Загрязнение донных отложений. // Наука и образование - 2003: Материалы Всероссийской научно-технической конференции (Мурманск, 2-16 апреля 2003 г.) - Мурманск: МГТУ, 2003. - Ч. 4. С. 72-73.

14. Моисеев Д.В. Создание атласов химического и радиоактивного загрязнения Баренцева моря. Выпуск 1. Загрязнение донных отложений. Сентябрь 2002 г. // Материалы XXI конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, (г. Мурманск, апрель 2003 г.). - Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2003. С. 85-95

15. Моисеев Д.В. Геоинформационная система для обработки, представления и анализа геоэкологической информации о Баренцевом море. // Материалы XXII конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (г. Мурманск, апрель 2004 г.). - Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2004. С. 72-77.

16. Ильин Г.В., Моисеев Д.В. Аномалии температуры и солёности воды на стандартных разрезах Баренцева моря в августе 2003 г. // Эволюция морских и наземных экосистем в перигляциальных зонах. Тез. докл. междунар. конф. (г. Ростов-на-Дону, 6-8 сентября 2004 г.) Ростов-на-Дону, 2004. С. 55-58.

17. Матишов Г.Г., Зуев А.Н., Голубев В.А., Адров Н.М., Тимофеев С.Ф.,

Карамушко О.В., Павлова Л.В., Браунштейн А.А., Фадякин О.Ю., Бузань А.П., Моисеев Д.В., Смоляр И., Локарнини Р., Татушко Р., Бойер Т., Левитус С. Климатический атлас морей Арктики 2004: Часть I. База данных Баренцева, Карского, Лаптевых и Белого морей - океанография и морская биология. Silver Spring, MD, 2004. 148 с.

18. Ильин Г.В., Моисеев Д.В., Ишкулова Т.Г. Гидрологические условия в Баренцевом море и открытых районах Белого моря. // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей северо-европейского бассейна (проект подпрограммы "Исследование природы Мирового океана" федеральной целевой программы "Мировой океан"). - Вып.1.-Апатиты: изд. Кольского научного центра РАН, 2004. С. 90-111

19. Моисеев Д.В. Использование ГИС при проведении экологического мониторинга на шельфе Баренцева моря. // Нефть и газ арктического шельфа - 2004: Материалы международной конференции. Мурманск, 17-19 ноября. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2004. С. 205-207.

20. Matishov G., Matishov D., Ilyin G., Moiseev D., Mokrotovarova O., Dahle S., Savinova T., Jensen H. Environmental status of Kola-Varanger coastal area of the Barents Sea in relation to oil and gas transportation. // Arctic geology, hydrocarbon resources and environmental challenges: NGF Abstracts and proceedings. 2004. No. 2. P. 102-103.

21. Моисеев Д.В. Некоторые результаты океанографических исследований Баренцева моря летом и осенью 2004 года. // Теория и практика комплексных морских исследований в интересах экономики и безопасности российского Севера: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Мурманск, 15-17 марта 2005 г.) - Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2005. С. 106.

22. Моисеев Д.В. Аномалии термохалинных характеристик водных масс на стандартных разрезах Баренцева моря (по данным исследований ММБИ в 1999-2004 гг.). // Материалы XXIII конференции молодых ученых, посвященной 70-летию МБС - ММБИ. - Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2005. - С. 65-76.

Диссертант Моисеев Д.В. Моисеев