

**А. А. РОМАНОВ, А. А. РОМАНОВ**

# **НОРВЕЖСКОЕ МОРЕ–1997**

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
КОМПЛЕКСНОГО НАУЧНО-  
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА**

**МОСКВА  
2018**

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, проф. В. В. Жмур, д-р географ. наук, проф. П. П. Чернышков

Р69 Романов А. А., Романов А. А. Норвежское море – 1997. Основные результаты комплексного научно-производственного эксперимента. — М.: ИКИ РАН, 2018. — 311 с. : табл., ил., цв. ил.

ISBN 978-5-00015-010-8

В 1997 году в Норвежском море впервые в мире был проведён комплексный научно-производственный эксперимент по оценке и прогнозированию биопродуктивности акватории Мирового океана с привлечением различных средств сбора информации, включая космические и авиационные средства дистанционного зондирования, и специализированное научно исследовательское судно.

Обсуждаются результаты измерений спутниковых съёмок из космоса и с борта самолёта-лаборатории, полученных одновременно с традиционными контактными измерениями научно-промысловым судном. Представлены результаты комплексного анализа распределений температуры поверхности океана, динамической топографии океана, радиолокационных изображений и традиционных «контактных» данных. Получена полезная информация о гидрологии, гидроакустике и гидрохимии, включая результаты исследований фитопигментов и взвеси, а также продукционно-деструкционных процессов в эвфотическом слое Норвежского моря. Показано, что основные структуры, выделяемые по информации космических радиолокаторов с синтезированной апертурой и спутникового инфракрасного радиометра, совпадают с данными карт аномалий высоты морской поверхности, а также подтверждаются судовыми «контактными» измерениями, что позволяет переходить к анализу и прогнозированию промысловой обстановке в регионе.

В заключительной части приведён обзор и анализ современных и перспективных средств дистанционного зондирования поверхности океана, а также видение постановки перспективных научно-производственных экспериментов.

*Ключевые слова:* результаты эксперимента «Норвежское море – 97», промысловая океанография, гидрология, гидрохимия, комплексный анализ, дистанционное зондирование океана, температура поверхности океана, спутниковая альтиметрия, радиолокация

Серия «Механика, управление и информатика»

**A. A. Romanov, A. A. Romanov**

**“Norwegian Sea – 97”**

**The major results of comprehensive experiment**

Back in 1997, for the first time ever, an experiment to assess the biological productivity of the marine environment in the area of Norwegian Sea using various means of data gathering including spacecrafts, fishery vessels and specially equipped aircraft was carried out.

The results obtained on the basis of the space-based and air-based gathered coincidentally with the traditional measurements with the aid of the scientific vessel are discussed. The comprehensive analysis of the sea surface temperature, sea surface height, SAR images and conventional “contact-associated” measurements was carried out. Useful information about hydrology, hydro acoustics, and hydrochemistry, including the results of the phytoplankton and suspension concentration with production/destruction processes research in photic zone of Norwegian Sea was obtained. It was shown that the major structures at the sea surface seen in synthetic aperture radar images match those found in sea surface height anomaly maps and further corroborated by ship’s contact-associated data thus the fishery productiveness in the region can be analyzed.

Analysis of the state-of-the-art and future ocean remote sensing space-based sensors is represented together with the vision of the perspective comprehensive scientific experiments organization ways.

*Keywords:* “Norwegian Sea’97” experiment results, commercial fishing oceanography, hydrology, hydrochemistry, comprehensive analysis, remote sensing, sea surface temperature, satellite altimetry, SAR

Компьютерная верстка: Комарова Н. Ю.

Дизайн обложки: Захаров А. Н.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	5
От авторов .....	6
Список сокращений .....	7
Введение .....	9
<b>Глава 1. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ ЭКСПЕРИМЕНТА .....</b>	<b>11</b>
1.1. Характеристика региона исследований и сроки выполнения работ ...	11
1.2. Основные цели и задачи рейса, ожидаемые научные результаты .....	13
1.3. Содержание работ и методика их выполнения. ....	14
1.4. Оснащение научно-исследовательского судна ВНИРО .....	30
1.5. Участвующие организации и их обязанности. ....	30
<b>Глава 2. КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>32</b>
2.1. Основные задачи исследований .....	32
2.2. Состояние проблемы ДЗЗ на период эксперимента .....	33
2.3. Характеристика дистанционных средств эксперимента. ....	36
2.4. Оперативный дистанционный мониторинг метеорологической обстановки на борту НИС .....	38
2.5. Система оперативной спутниковой связи «Гонец-Д1» .....	41
2.6. Контроль промышленной обстановки в регионе исследований на борту НИС .....	42
2.7. Подготовка и преобразование результатов эксперимента на борту НИС .....	44
2.8. Основные результаты космического мониторинга .....	47
2.9. Выводы .....	69
<b>Глава 3. КОМПЛЕКСНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>71</b>
3.1. Основные задачи исследований .....	72
3.2. Краткое описание самолёта-лаборатории «Арктика» и его бортовых комплексов. ....	73
3.3. Методика проведения комплексных авиационных исследований .....	87
3.4. Основные результаты комплексных авиационных исследований .....	90
3.5. Выводы .....	94
<b>Глава 4. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>96</b>
4.1. Основные задачи исследований .....	96
4.2. Инструментальные средства и методы океанографических, гидрологических и гидроакустических наблюдений .....	96
4.3. Основные результаты океанографических и гидрологических исследований .....	107
4.4. Основные результаты гидроакустических исследований .....	131
4.5. Выводы .....	147
<b>Глава 5. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>148</b>
5.1. Основные задачи исследований .....	148
5.2. Материалы и методы наблюдений .....	148
5.3. Основные результаты исследований .....	180
5.4. Выводы .....	182
<b>Глава 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТОПИГМЕНТОВ И ВЗВЕСИ .....</b>	<b>183</b>
6.1. Основные задачи исследований .....	183
6.2. Методика наблюдений фитопигментов и взвеси .....	183
6.3. Основные результаты исследований .....	183
6.4. Выводы .....	192

Глава 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭВФОТИЧЕСКОМ СЛОЕ. ....	193
7.1. Основные задачи исследований .....	193
7.2. Материалы и методы наблюдений продукционно-деструкционных процессов .....	193
7.3. Основные результаты исследований .....	196
7.4. Выводы .....	200
Глава 8. БИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	201
8.1. Основные задачи исследований .....	201
8.2. Материалы и методы биохимических наблюдений .....	201
8.3. Основные результаты исследований .....	202
8.4. Выводы .....	223
Глава 9. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В НОРВЕЖСКОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 1997 Г. ....	224
9.1. Основная задача исследований .....	224
9.2. Материал и методика наблюдений планктонного сообщества .....	224
9.3. Основные результаты исследований .....	224
9.4. Выводы .....	248
Глава 10. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА С УЧЁТОМ ПРОМЫСЛОВОЙ СТАТИСТИКИ .....	249
10.1. Фарерская экономическая зона .....	249
10.2. Открытая часть Норвежского моря .....	250
10.3. Выводы .....	252
Глава 11. СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ОКЕАНА .....	253
11.1. Гидрометеорологические спутниковые системы .....	253
11.2. Альтиметрические и радиолокационные спутниковые системы и комплексы .....	258
11.3. Космические комплексы для определения солёности океана .....	270
11.4. Перспективы использования космических средств в интересах комплексного мониторинга характеристик океана .....	275
11.5. Выводы .....	277
Заключение .....	279
Литература .....	282
Приложение 1. Результаты предварительной съёмки открытой части Норвежского моря НИС «Атлантида» (ПИНРО) 31.05–13.06.1997 г. ....	286
Приложение 2. Основные данные глубоководного гидрологического зондирования .....	292

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние десятилетия активно ведутся исследования, связанные с развитием методов и технологий дистанционных спутниковых наблюдений, ориентированные на получение количественных характеристик различных природных и антропогенных объектов и процессов. Развитие таких методов и технологий обусловлено, с одной стороны, ростом возможностей и качества спутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а с другой — быстро растущей потребностью получения с помощью методов ДЗЗ информации, которую можно было использовать для детального изучения, моделирования и прогнозирования различных процессов, происходящих на нашей планете.

Одним из активно развивающихся направлений создания и использования таких методов, безусловно, становятся исследования различных процессов и явлений, наблюдающихся в Мировом океане, в первую очередь на его поверхности. В последние годы удалось принципиально улучшить точность определения различных физических характеристик водной поверхности, получаемых на основе методов и технологий ДЗЗ. Следует отметить, что создание таких методов невозможно без проведения экспериментов, осуществляющих сравнение информации, получаемой на основе контактных измерений, и спутниковых наблюдений. Без проведения подобных экспериментов невозможно создание надёжных методов дистанционного измерения физических параметров и характеристик различных явлений. При этом особую роль при исследовании достаточно сложных явлений и процессов играют комплексные эксперименты, позволяющие организовать сбор различной информации, необходимой для понимания таких процессов, с использованием как дистанционных, так и контактных методов. Постановка подобных экспериментов, безусловно, является достаточно сложной научной задачей, а их проведение требует значительных технических, организационных и финансовых ресурсов. Поэтому большинство подобных крупных комплексных экспериментов является уникальными и полученные в результате них опыт и информация могут использоваться различными научными группами долгие годы.

Представляемая книга посвящена описанию комплексного эксперимента в Норвежском море в 1997 году и его результатам. Даже спустя 20 лет можно говорить об уникальности постановки задачи и результатов этого эксперимента, собравшего существенный объём комплексных измерений, на базе которых были созданы и отработаны различные методики обработки данных дистанционного зондирования, которые затем применялись в задачах промыслового прогноза морских гидробионтов непосредственно в районе промысла. Представленный эксперимент не только дал ответы на многие вопросы, но и сформулировал новые области для проведения изысканий, поставил новые вопросы для изучения. Хочется отметить, что многие подходы, предложенные при постановке эксперимента, остаются актуальными до сих пор, а полученная в ходе него комплексная информация, на наш взгляд, может использоваться и сегодня с учётом возникших новых возможностей обработки и анализа данных.

Именно поэтому ИКИ РАН решил поддержать инициативную работу авторов по проведению, фактически, реанализа данных, полученных в результате обсуждаемого эксперимента, систематизации его результатов и обеспечения их доступности для широкой научной общественности, работающей в области исследования различных океанических процессов. Огромная работа, проделанная авторами, позволила подготовить эту книгу, которая, по нашему мнению, будет крайне полезна не только как источник уникальных научных материалов, но и как практическое руководство при планировании и проведении последующих комплексных исследований Мирового океана с использованием современных спутниковых систем ДЗЗ.

Работы по подготовке и выпуску данной книги выполнены при поддержке Минобрнауки (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Заместитель директора ИКИ РАН по вопросам обеспечения  
проектов дистанционного мониторинга Земли  
доктор технических наук  
Е. А. Лупян

## ОТ АВТОРОВ

Мы долго думали над вариантами авторского вступления к этой книге, сомневались, стоит ли писать что-либо вообще, но всё же решили немного объяснить мотивацию авторов в опубликовании результатов эксперимента, который завершился более 20 лет назад.

Дело в том, что за прошедшее время не только в Российской Федерации, но и в мире, не повторили исследования близкого по охвату и поставленным задачам эксперименту, проведённому группой российских специалистов в Норвежском море в 1997 году. Актуальность собранной информации по-прежнему велика и нам бы хотелось, чтобы полученные результаты всё же стали доступны, пусть и с опозданием, широкому кругу специалистов.

Авторы выражают искреннюю признательность команде научно-исследовательского судна «Академик Борис Петров», а также всей научной группе эксперимента, которая трудилась не только на борту судна в Норвежском море, но и на берегу, в разных городах страны, обеспечивая получение представленных в книге результатов: В.В. Сапожникову, В.Г. Аникееву, С.В. Матвееву, Г.Е. Чухлебову, Л.А. Стефанцеву, В.А. Северину, Б.М. Прусакову, С.В. Мастюкову, В.Б. Горюновой, Б.А. Левенко, Л.Е. Дулову, С.И. Столярскому, П.А. Михейчику, В.В. Буланову, А.Н. Рамазину, Д.Ю. Докучаеву, А.М. Сироте, Е.В. Сентябову, С.Б. Попову, Н.И. Торгуновой, Ю.А. Михайловскому, А.К. Грузевичу, А.И. Агатовой, Н.М. Лапиной, Г.Б. Семочкиной, Н.В. Мордасовой, М.П. Метревели, Н.В. Плехановой, В.Ю. Сунковичу, Л.В. Родиной, В.А. Толпину и многим другим.

Сам факт, что научно-исследовательское судно называлось «Академик Борис Петров» весьма символично, поскольку направленность рейса соответствовала комплексному использованию результатов космических, авиационных и судовых океанографических данных, а Герой Социалистического Труда академик Борис Николаевич Петров всю жизнь посвятил управлению ракетами и космическими аппаратами, а также программному управлению космическими исследованиями, возглавляя Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

Авторы искренне признательны руководителю Госкомрыболовства А.В. Родину за оказанную всестороннюю поддержку при организации комплексного эксперимента в Норвежском море, без содействия которого данный эксперимент вряд ли бы состоялся. Также мы не можем не отметить вклад начальника научно-технического управления Госкомрыболовства России С.Е. Дягилева, бывших руководителей НТФ «Комплексные системы» (Мурманск) В.М. Мишкина, В.И. Семенаса и Б.М. Шатохина, а также П.П. Чернышкова из АтлантНИРО (Калининград) и В.Н. Кочикова (ВНИРО, Москва).

На предварительном этапе подготовки и основной фазе эксперимента значительный вклад в обработку и анализ космических данных внесли В.В. Зайцев (НПО машиностроения) и К.Ц. Литовченко (ИКИ РАН).

Поскольку с периода проведения работ прошло немало времени, многие иллюстрации оказались утраченными. Большую помощь в розыске и восстановлении изображений и данных, полученных самолётом-лабораторией, оказал коллектив ПИНРО и лично В.Б. Забавников, с участием которого и проводилась авиационная часть эксперимента. Авторы искренне признательны коллегам и лично В.И. Чернооку за большой вклад в проведение авиационной части эксперимента.

Кроме того, авторы благодарны Г.В. Шевченко за помощь в расчёте приливных гармоник, для учёта указанной составляющей при восстановлении карт высоты аномалии морской поверхности и Г.А. Кантакову за плодотворные диспуты в процессе подготовки материалов.

И самое главное, авторы посвящают эту книгу своим самым близким людям, которые поддерживали их в самые трудные минуты жизни и благодаря кому эти достижения, собственно, оказались возможны.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АК АВЛ — авиакомпания «Архангельские авиалинии»  
АНУ — автоматизированное навигационное устройство  
АтлантНИРО — Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии  
АФС — аппаратура аэрофотосъёмки  
АЭЗ — арктическая экономическая зона  
БАС — бортовая информационная система  
БАТГ — большой автономный траулер  
БАТМ — большой автономный траулер морозильный  
БИТ — буксируемый измеритель температуры  
БМРТ, БМРТА, БМРТВ — большой морозильный рыболовный траулер  
ВАРУ — временная автоматическая регулировка усиления  
ВВ — вертикальная дальность видимости  
ВИТ — Восточно-Исландское течение  
ВНИРО — Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии  
ГВ — горизонтальная дальность видимости  
ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система  
ДЗ — дистанционное зондирование  
ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли  
ДИСС — доплеровское измерение скорости и сноса  
ЕКА — Европейское космическое агентство  
ЕСП — естественный синоптический период  
ЗВНТ — западной ветви Норвежского течения  
ИК — инфракрасный  
ИКЕС — Международный совет по исследованию моря  
ИКИ РАН — Институт космических исследований РАН  
ИО РАН — Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН  
ИПУ РАН — Институт проблем управления РАН им. В. А. Трапезникова  
ИЭЗ — Исключительная экономическая зона  
КА — космический аппарат  
МГИ НАНУ — Морской гидрофизический институт Национальной академии наук Украины  
МГЦ — Мурманский гидрометцентр  
МГУ — Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова  
НГО — нижняя граница облачности  
НИС — научно-исследовательское судно  
НК — нуклеиновая кислота  
НПОмаш — Научно-производственное объединение машиностроения  
НПС — научно-поисковое судно  
НТФ «Комплексные системы» — Научно-техническая фирма «Комплексные системы»  
НЭЗ — норвежская экономическая зона  
ОВ — органическое вещество  
ОЧ — открытая часть  
ОЧНМ — открытая часть Норвежского моря  
ПИНРО — Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича  
ПК — персональный компьютер  
ПП — первичная продукция  
ПФЗ — полярная фронтальная зона  
РАН — Российская академия наук  
РЛИ — радиолокационные изображения  
РЛС БО — радиолокационная система бокового обзора  
РСА — радиолокатор с синтезированной апертурой  
РТМКС — рыболовный траулер морозильно-консервный (супертраулер)  
РТМС — рыболовный траулер морозильный (супертраулер)

РЦ — реакционный центр  
СВМ — степень волнения моря  
СВЧ — сверхвысокочастотный  
СПУ — внутрисамолётное связное устройство  
СС — светособирающая антенна  
ССД — судовое суточное донесение  
ТПО — температура поверхности океана  
ТСМ — траулер-сейнер морозильный  
УГН — участок гидродинамической неоднородности  
УППБ — участок повышенной первичной биопродуктивности  
ФЗ — фронтальная зона  
ФП — фитопланктон  
ФРЗ — Фарерская экономическая зона  
ЭТС — Электрон-транспортная система  
AVHRR — Advanced Very High Resolution Radiometer  
CDR — Critical Design Review  
CDTI — Center for Technological and Industrial Development  
CTD — conductivity, temperature, depth  
EDR — Environmental Data Records  
EDRS — European Data Relay Satellite  
EEA — European Environment Agency  
ESSP — Earth System Science Pathfinder  
ILM — Interleaved Mode  
JPSS — Joint Polar Satellite System  
LICEF — Lightweight Cost-Effective Front-End  
LRM — low Resolution mode  
MERIS — Medium Resolution Imaging Spectrometer  
MIRAS — Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis  
NWS — National Weather Service  
OLCI — Ocean and Land Color Instrument  
OLS — Operational Linescan System  
SMAP — Soil Moisture Active Passive  
SMOS — Soil Moisture Ocean Salinity  
SPSWG — SeaWiFS Prelaunch Science Working Group  
SRAL — SAR Radar Altimeter  
SSH — Sea Surface Height  
SWH — Significant Wave Height  
TAS — Thales Alenia Space  
TAS-E — Thales Alenia Space Espania  
TAS-F — Thales Alenia Space France  
TAS-I — Thales Alenia Space Italy  
VIIRS — Visible/Infrared Imager Radiometer Suite  
WATER HM — Water And Terrestrial Elevation Recovery Hydrosphere Mapper  
WSOA — Wide Swath Ocean Altimeter



# ВВЕДЕНИЕ

Сокращение финансирования экспедиционных работ, особенно в открытых районах Мирового океана, требует поиска новых путей решения проблемы океанографического мониторинга промысловых районов, в том числе обоснования методов дистанционного зондирования (ДЗ) океана с борта космических аппаратов (КА) и авианосителей: а также определения возможностей различных датчиков ДЗ, работающих в видимом, инфракрасном (ИК) и сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазонах.

Вместе с тем, поскольку только дистанционные методы не позволяют в полном объёме обеспечить информационную поддержку промысловых работ, особое значение приобретает разработка, создание и использование комплексных методов мониторинга океанографической обстановки в промысловых районах, когда производится интегрирование всех доступных средств получения информации о состоянии океана, как среды обитания гидробионтов.

Одним из важных в промысловом отношении районов является открытая часть Норвежского моря (ОЧНМ), где в июле – августе осуществляется промысел скумбрии, путассу с приловом ставриды и сельди. При этом сроки выхода скумбрии в ОЧНМ зависят от термического режима и интенсивности Северо-Атлантического течения. Северные кормовые миграции идут вдоль фронтальной зоны, образуемой западной ветвью Норвежского течения, скумбрия удерживается в верхнем 50-метровом слое, не опускаясь ниже глубины слоя скачка термоклина. Наиболее плотные концентрации рыбы образуются на участках с максимальными горизонтальными градиентами температуры воды.

В зависимости от положения ветви Северо-Атлантического течения отмечаются западный и восточный типы миграции скумбрии, при этом в случае восточной миграции основные скопления распределяются в зонах Фарерских островов, Великобритании и Норвегии и вылов скумбрии в ОЧНМ снижается.

Особенности промысла скумбрии в нагульный период связаны с её очень большой подвижностью, кратковременными периодами образования устойчивых скоплений и, следовательно, слабой возможностью их регистрации эхолокацией. Это обусловлено закономерностями поведения скумбрии в период интенсивного питания в верхнем слое моря на скоплениях кормовой базы (калянуса). Формирование концентраций калянуса и условий их доступности для скумбрии, в свою очередь, определяется совокупностью ряда ситуационных ограничений, вызванных мезомасштабной изменчивостью биопродукционного процесса в верхнем квазиоднородном слое океана. Основными влияющими факторами при этом являются термодинамические характеристики формирования верхнего квазиоднородного слоя и их пространственно-временная изменчивость на акватории нагульного ареала скумбрии.

Совокупность накопленных знаний, возможность использования современных информационных технологий, включая методы дистанционного зондирования, позволит решить ряд проблем информационного обеспечения и организации эффективного промысла скумбрии. При этом можно выделить два направления в производственных задачах информационного обеспечения такого промысла:

- отработка технологий информационного обеспечения промысловых судов «достаточной» репрезентативной и своевременной информацией для планирования и принятия управленческих решений на промысле;
- сбор качественно новых и репрезентативных данных для проведения научных исследований, создание и верификация компьютерной базы знаний о закономерностях поведения скумбрии и условиях образования её промысловых скоплений в нагульный период.

Следует отметить, что некоторые из требуемых параметров могут быть восстановлены по спутниковым данным с определённой степенью достоверности, а методики их определения отработаны достаточно надёжно.

Так, в настоящее время для построения карт ТПО используются в основном данные радиометра AVHRR, установленного на борту спутников серии NOAA (США), а также данные отечественных спутников «Метеор», «Океан» и «Ресурс», получающих изображения в видимом

и ИК-диапазонах. Однако наличие облачности, состояние атмосферы и условия освещённости часто ограничивают применение этих датчиков для мониторинга промысловых районов Мирового океана. В этих случаях на помощь могут прийти радиолокационные датчики, которые независимы от перечисленных выше факторов и могут снимать любой район Мирового океана в любое время суток.

В сложившейся практике определение фитопланктона и распределение отдельных его важнейших видов в светопроницающем слое океана наиболее целенаправленно выполняется для основных промысловых районов Мирового океана, однако в целом мониторинг распределения фитопланктона силами только поисковых и научных судов отрасли выполнен быть не может. Следовательно, развитие дистанционных методов определения перечисленных характеристик морской толщи позволит существенно улучшить качество информационного обеспечения рыбопромыслового прогнозирования различной заблаговременности.

Исследования тех лет показывали, что неоднородности поверхностной температуры во фронтальных зонах влияют на интенсивность обратного рассеяния радиоволн. Этот эффект объясняется влиянием изменений стратификации атмосферного пограничного слоя над пространственными вариациями температуры воды во фронте. Если ветер на достаточно большой высоте горизонтально однороден, то изменения стратификации атмосферы приводят к вариациям приводного ветра, которые определяют уровень спектра ряби морской поверхности, рассеивающей радиоволны. Это явление многократно наблюдалось экспериментально и его можно использовать в качестве основы для развития метода обнаружения океанических температурных фронтов по радиолокационным изображениям (РЛИ). Кроме этого, энергия ветровой ряби, рассеивающей радиоволны, зависит от наличия и концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ). Одним из источников ПАВ являются продукты жизнедеятельности морских организмов. Скопления ПАВ в зонах конвергенции течений (обнаружение таких зон имеет исключительно большое значение для рыбного промысла) могут быть, в принципе, идентифицированы на радиолокационных изображениях как области отрицательных контрастов и служить индикатором зон повышенной биопродуктивности.

Таким образом, можно было ожидать, что данные радиолокационного зондирования океана могут оказаться полезными в рыбопоисковых исследованиях.

Основываясь на вышеизложенном, Госкомитетом РФ по рыболовству было принято решение об организации, проведении и финансировании в июле 1997 г. отраслевого комплексного научно-производственного эксперимента в Норвежском море на промысле скумбрии с использованием космических, авиационных и судовых средств мониторинга морской среды (условное название «Норвежское море – 97»). В связи с этим на отраслевом семинаре по информационным технологиям и дистанционным методам мониторинга рыбопромысловых районов Мирового океана было проведено обсуждение замысла эксперимента и принято решение о разработке Программы. Программа научно-производственного эксперимента была согласована руководителями головных научно-исследовательских институтов отрасли (ВНИРО, АтлантНИРО, ПИНРО), а также профильных тематических управлений Госкомрыболовства России и Министерства науки России.

Комплексность проводимого эксперимента потребовала разработки и создания принципиально новой инфраструктуры организации и проведения научно-производственного эксперимента, обеспечивающей координацию и взаимодействие берегового, судового и самолётного сегментов.

Основной целью научно-производственного эксперимента в Норвежском море была определена экспериментальная проверка и отработка технологий и программно-технических средств, разрабатываемых участниками эксперимента для системы производственно-экологического мониторинга Северного бассейна при решении практических задач промысла скумбрии.

# Глава 1. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

## 1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЙ И СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Основные исследования в рамках научно-промышленного эксперимента «Норвежское море – 97» (далее — Эксперимент) выполнялись в открытой части Норвежского моря с координатами 65°–68° с. ш., 6° з. д. – 3° в. д. в период с 28 июня по 2 августа 1997 г.

Общая продолжительность работ без учёта времени переходов составила 30 сут.

### 1.1.1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Указанный район характеризуется разнообразными гидрологическими условиями, наличием ярко выраженных фронтальных и градиентных зон на поверхности, умеренной облачностью и относительно устойчивыми метеорологическими условиями, что существенно для отработки методик дистанционного определения океанографических параметров.

Благодаря сложному рельефу дна Норвежского моря, тёплые атлантические воды при своём движении на север разделяются на отдельные ветви и меняют направление. Атлантическое течение начинает своё деление в районе Норвежского плато. При этом на генеральные струи постоянных течений налагаются крупномасштабные вихри, образующиеся над резкими изломами дна при переходе от шельфа к материковому склону и приводящие к возникновению вергентных зон. Положение основного гидрологического фронта Норвежского моря — полярного фронта, главным образом определяется расположением восточных склонов хребтов Мона, Книповича и Ян-Майенского (Истошин, Алексеев, 1956).

Для Норвежского моря характерным является преобладание траекторий циклонов, направленных с юга и юго-запада, повторяемость которых летом составляет 41 %. Средняя скорость перемещения циклонов по этим траекториям в это время колеблется от 25 до 45 км/ч с минимумом в августе. Их прохождение над акваторией моря характеризуется плотной облачностью слоистых форм, обложными облаками, ветрами южных румбов силой 3...6 баллов и температурой воздуха 5...14 °С. Максимум температуры воздуха наступает в июле – августе (Каган, 1992).

Повторяемость пасмурного неба (8...10 баллов) в открытой части моря составляет 70...80 %, уменьшаясь по направлению к побережью. Повторяемость ясного неба (0...2 балла) в открытой части моря не превышает 10 %, увеличиваясь у побережья до 15...20 %.

Летом, после прохождения серии циклонов или при распространении Азорского максимума на Скандинавию над акваторией Норвежского моря устанавливается хорошая погода, характеризующаяся малооблачностью, слабыми ветрами и отличной видимостью. Повторяемость такой погоды летом составляет 38 % (Каган, 1992).

### 1.1.2. ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Летом повсеместно на акватории моря наблюдается максимальная повторяемость незначительного волнения (высотой менее 4 м), которая составляет в среднем 87...90 %. Наиболее спокойной является центральная часть моря, где повторяемость волнения менее 4 м достигает 93 %, штормовое волнение в этот период здесь практически отсутствует. В остальных частях моря повторяемость штормового волнения летом в среднем составляет 5...8 %, с максимумом на севере моря, где она достигает 8...10 % (Сентябов, 2009).

Общая система циркуляции вод моря образуется двумя основными постоянными течениями — тёплым Норвежским и холодным Восточно-Исландским. Норвежское течение открытого

моря после выхода через Фарерско-Шотландский жёлоб следует в генеральном направлении на северо-восток со скоростью 0,8...1,0 узла, а затем со скоростью 0,2...0,5 узла. Под воздействием повышения дна Норвежского плато происходит разделение Норвежского течения на две ветви — Восточную и Западную. На северо-востоке Норвежского моря над Лофотенской котловиной воды ветвей Норвежского течения участвуют в формировании обширного квазистационарного антициклонического вихря. Этот круговорот прослеживается в границах от 0° на западе до меридиана 15° в.д. на востоке, между параллелями 68°–72°30' с.ш. Ширина вихря достигает 240...300 миль с центром на параллели 70° с.ш. и меридиане 5° в.д. В отдельные годы здесь могут наблюдаться несколько разнонаправленных круговоротов, которые участвуют в одном мощном антициклоническом вихре. Ядро тёплых и солёных вод толщиной 1000 м занимает область размером 180...200 миль, причём прослеживается его наклон с северо-запада на юго-восток. Геострофические скорости вблизи центра вихря достигают 27 см/с (Сентябов, 2009).

### 1.1.3. ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ

Пространственное распределение температуры воды Норвежского моря во все сезоны года в целом имеют широтную зависимость, максимальные значения её наблюдаются в южной и юго-восточной частях моря, постепенно понижаясь в центральной и северной его акваториях и имеют минимум на западе и северо-западе моря.

Летом, в первую очередь за счёт солнечного прогрева, на акватории Норвежского моря повсеместно происходит повышение температуры воды. При этом к концу лета температура поверхности моря (далее будет использоваться сокращение ТПО — температура поверхности океана) достигает максимальных значений и составляет на юге и юго-востоке моря 12...14 °С, на восточной периферии центральной части 10...12 °С, а на западе центральной части и севере моря 3...7 °С. В центральной части моря, между меридианами 5°–6° в.д. (район промысла скумбрии) развитие сезонного термоклина обычно наблюдается в июне–августе, его толщина в среднем составляет 10...20 м. Глубина залегания верхней границы сезонного термоклина и величина градиента температуры воды в нём от года к году сильно варьируется и они в значительной степени зависят от интенсивности инсоляции (Структура..., 1989).

### 1.1.4. ФРОНТАЛЬНЫЕ ЗОНЫ

Главные водные массы (атлантическую и полярную) Норвежского моря, формирующиеся под влиянием основных тёплых и холодных течений, разделяет полярная фронтальная зона (ПФЗ), которая носит характер климатической крупномасштабной фронтальной зоны (ФЗ). ПФЗ в основном имеет меридиональную ориентацию и простирается между 2° и 5° з.д., а вблизи проливов её положение меняется на широтное.

На пространственную структуру ПФЗ существенное влияние оказывают формы донной топографии и квазистационарные круговороты по обе стороны от ФЗ. Следовательно, наиболее стабильное положение занимает участок ПФЗ, расположенный над подводными хребтами Мона и Книповича, т.е. к востоку и северо-востоку от острова Ян-Майен. На других участках акватории Норвежского моря (между параллелями 65° и 69° с.ш.) ПФЗ имеет вид размытых ответвлений размером в поперечнике 100...400 м с умеренными значениями градиента температуры и большими углами наклона фронтальных разделов. ПФЗ непрерывна от поверхности до глубин 200...300 м, значения градиентов температуры составляют в стрессе фронта 0,03...0,04 °С/км, а на периферии 0,02 °С/км. На юге фронтальная зона на поверхности развита слабо, отмечаясь лишь на локальных участках. Наиболее чётко она выражена здесь на глубинах 100...300 м (Johannessen et al., 1997).

На юге ПФЗ занимает наименьшую площадь в апреле, когда она отмечается лишь в виде отдельных локальных пятен на юго-востоке моря, а наибольшую и размытую — в мае, когда северная и южная зоны могут практически сливаться в центральной части моря. Для южной части фронта характерно интенсивное меандрирование и вихреобразование (Johannessen et al., 1997).

## 1.2. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РЕЙСА, ОЖИДАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Целью эксперимента являлась отработка в натуральных условиях элементов автоматизированных технологий комплексной обработки гидрологической, гидрооптической, гидрохимической, гидроакустической, космической и промышленной информации, получаемой с помощью судовых, авиационных и космических измерительных систем с целью повышения качества информационного обеспечения краткосрочного прогнозирования на реальном промысле скумбрии в открытой части (ОЧ) Норвежского моря.

Для достижения цели эксперимента предполагалось решить следующие задачи:

**1.2.1.** Экспериментальная отработка технических решений по созданию судовой и самолётной автоматизированных систем сбора и обработки данных дистанционного зондирования Мирового океана.

**1.2.2.** Экспериментальная отработка технических решений по организации базы данных для комплексного усвоения разнородных данных, поступающих от измерительно-вычислительных комплексов судна, самолёта и космического аппарата (КА).

**1.2.3.** Проведение комплексных гидрологических, гидрооптических, гидробиологических, гидрохимических, гидроакустических и космических работ на полигоне, направленных на отработку методик верификации данных различных спутниковых датчиков на реальных океанографических явлениях, наблюдаемых в выбранной акватории (вихри, фронтальная зона, зона конвергенции, промысловые скопления гидробионтов).

**1.2.4.** Проведение океанологических работ на полигоне, направленных на адаптацию методов автоматизированного диагноза температуры, концентрации хлорофилла и скорости приводного ветра по данным спутниковых синхронных измерений.

**1.2.5.** Обработка полигонных наблюдений в реальном масштабе времени с целью оценки точности восстановления гидродинамических полей и оптимального планирования проведения полигонных съёмов.

**1.2.6.** Обработка методических приёмов дистанционного определения концентрации хлорофилла в верхнем слое океана.

**1.2.7.** Опытная эксплуатация и морские испытания отечественной и зарубежной гидрооптической и гидрологической аппаратуры.

**1.2.8.** Восстановление характеристик моря по спутниковым и самолётным радиолокационным данным.

**1.2.9.** Выявление зоны конвергенции и фронтальной зоны по данным радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) и радиолокационной системы бокового обзора (РЛС БО) в различных режимах передачи данных с КА.

**1.2.10.** Обработка информационных технологий приёма — передачи комплексных данных в автоматизированных защищённых режимах по радио и спутниковым каналам связи.

**1.2.11.** Проведение бортовых испытаний подсистем бортового комплекса поддержки принятия решений на промысле (электронная карта, гидроакустика, поддержка принятия решений, А-радио).

**1.2.12.** Обработка элементов технологии электронного позиционного контроля судов с использованием систем связи А-радио, «Инмарсат-С» и «Аргос».

**1.2.13.** Оценка эффективности полученных в ходе эксперимента практических результатов, совершенствование научно-методических подходов и верификация технологической системы отраслевого производственно-экологического мониторинга.

Все задачи, которые решались в ходе Эксперимента, достаточно тесно связаны между собой и направлены на максимально возможную поддержку работы промыслового флота в районе промысла скумбрии. Вместе с тем, осуществлялось решение серьёзных научных задач, направленных на совершенствование существующих и создание перспективных информационных технологий.

Учитывая, что продолжительность экспедиции была недостаточной для полноценной обработки получаемых данных и их интерпретации, научные результаты базировались на предварительной обработке собранного комплекса данных, необходимого для решения основной задачи подспутникового эксперимента. Которая состояла в оценке возможностей и ограничений восстановления физических и био-оптических параметров морской воды по данным дистанционного зондирования, с последующим комплексным анализом полученных результатов и сравнением с информацией гидрологических исследований.

Радиолокаторы и альтиметры позволяют получать информацию о состоянии морской поверхности из космоса даже при наличии облачности, когда такие наблюдения невозможны в видимом и ИК-диапазонах. Как известно, мезомасштабные гидрологические особенности проявляются в радиолокационных изображениях и картах аномалий морской поверхности. Поэтому основным ожидаемым результатом является углубление понимания механизмов проявления динамики моря на его поверхности и дальнейшее развитие методов радиолокационного мониторинга мезомасштабной изменчивости океана из космоса.

Кроме того, одновременное использование данных оптических и радиолокационных датчиков позволило отработать элементы технологий всепогодного восстановления параметров морской воды.

Полный комплекс экспериментальных данных составил:

- данные измерений оптических, радиолокационных, гидродинамических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик морской воды;
- данные измерений спектра восходящего излучения на уровне моря;
- данные синхронных спутниковых измерений спектрального состава восходящего излучения в различных диапазонах.

Такая полнота данных синхронных натурных, самолётных и спутниковых измерений была впервые обеспечена в результате работ на выбранных подспутниковых полигонах.

## 1.3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ И МЕТОДИКА ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

### 1.3.1. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Основным видом работ в рамках Эксперимента должны являться полигонные съёмки. В выбранном районе, ограниченном прямоугольником с координатами (65°–68° с.ш.; 6° з.д. – 3° в.д.) должны осуществляться комплексные гидрологические, гидрооптические, гидрохимические, гидробиологические, гидроакустические, авиационные и космические съёмки акватории размером 2х3° с разбиением на сетку, в узлах которой выполнялись стандартные океанологические станции. Схема полигона представлена на рисунке 1.1.

Поскольку в Эксперименте должен был быть явно выражен научно-производственный аспект, его идеология, стратегия и тактика выполнения принципиально должна отличаться от традиционных научных съёмок полигона.

Несмотря на то, что собственно экспедиция в районе полигона должна быть проведена в течение июля 1997 г., экспертам ВНИРО, ПИНРО и НТФ «Комплексные системы» необходимо начать работы по мониторингу полигона всеми доступными средствами, в первую очередь спутниковыми, а также анализировать предварительную информацию съёмки научных судов ПИНРО и международных наблюдений за несколько месяцев до старта Эксперимента.



**Рисунок 1.1** Схема полигонов и функциональное назначение судов научно-производственного эксперимента в Норвежском море (июль – август 1997 г.)

Перед началом выполнения полигона в течение 3-4 дней необходимо проводить контрольное обследование полигона в режиме буксирования зонда AquaShuttle (Левашов, 199), с целью определения реальных границ фронтальной зоны и зоны конвергенции. При этом одновременно осуществлять калибровку зондирующей аппаратуры. Синхронно с пролётом спутников ERS (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/e/ers-2>) выполнять детальное буксирование вдоль фронтальной зоны поверхностных датчиков температуры и зонд AquaShuttle с целью идентификации границ указанных явлений на космических снимках.

### 1.3.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

В течение рейса в стандартные синоптические сроки (00, 06, 12, 18 ч GMT) и на всех океанографических станциях штурманским составом необходимо осуществлять комплекс метеорологических наблюдений согласно (Наставление..., 1992).

Данные о направлении и скорости ветра, волнении, температуре воздуха, атмосферном давлении, количестве и форме облачности, видимости, атмосферных явлениях заносить в станционные карточки, а затем переносились в судовую автоматизированную базу данных.

Ежедневно радиослужбой судна осуществлять приём синоптических карт и других факсимильных материалов.

### 1.3.3. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 1.3.3.1. Технический эксперимент

В рамках технической части эксперимента необходимо провести работы по испытанию экспериментального образца автоматизированной системы сбора и обработки космической информации судового уровня на базе станции приёма космической информации «Мемосат» (Романов и др., 1996). Станцией осуществляется приём космической информации со спутников NOAA (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/n/noaa-poses-series-5th-generation>), а также автоматизированное построение карт ТПО по выбранному полигону. Одновременно необходимо записывать данные контактных измерений поверхностной температуры буксируемыми измерителями температуры (БИТ) и зонда AquaShuttle. Необходимо проверить работоспособность в судовых условиях программного обеспечения обработки космической и гидрологической информации.

### 1.3.3.2. Гидрооптические исследования

Гидрооптический эксперимент необходимо провести для получения комплекса био-оптических параметров, необходимых для верификации данных спутникового датчика цвета МОЗ-Б, установленного на борту орбитального комплекса «Мир-Природа» и аналогичного датчика цвета, установленного на борту индийского спутника IRS.

#### *Комплекс измерений и состав аппаратуры*

Для проверки калибровки спутниковых датчиков цвета океана, проверки и развития био-оптических алгоритмов и алгоритмов атмосферной коррекции рабочей группой SeaWiFS Prelaunch Science Working Group (SPSWG) было рекомендовано проведение обширного комплекса био-оптических и атмосферно-оптических измерений.

#### *Измерения яркости восходящего излучения*

Измерения яркости восходящего излучения являются основным видом оптических наблюдений, необходимым для верификации спутниковых данных о цвете океана.

Подспутниковые измерения яркости восходящего излучения нужно использовать, с одной стороны, в комплексе с биогеохимическими измерениями для проверки и развития био-оптических алгоритмов, с другой стороны, для проверки алгоритма атмосферной коррекции в результате сопоставления со спутниковыми данными. Измерения необходимо выполнять двумя приборами как непосредственно под поверхностью океана, так и с борта судна с небольшой высоты. Для измерений нужно использовать приборы, предназначенные для одно-временной регистрации спектральных распределений яркости восходящего излучения и облучённости поверхности моря.

#### *Измерения коэффициента диффузного ослабления облучённости*

Коэффициент диффузного ослабления облучённости является одним из основных параметров, определяемых по био-оптическим алгоритмам. Его величина необходима для оценки первичной продукции, а также является вспомогательной для расчёта средневзвешенных по глубине концентраций основных биогеохимических параметров.

Измерения коэффициента диффузного ослабления предполагается проводить с помощью прибора «Альфамер», одновременно регистрирующего нисходящую облучённость двумя разнесёнными по глубине датчиками.

#### *Измерения вертикального распределения показателя ослабления света*

Измерения вертикального распределения показателя ослабления используются для оценки стратификации взвешенного вещества. Измерения предлагается провести зондом-прозрачномером «Дельфин», позволяющим в реальном времени получать информацию о профилях показателя ослабления и температуры. На станциях по результатам предварительного проведённого зондирования прозрачномером предлагается провести прицельный отбор проб для биогеохимических наблюдений.

В процессе выполнения эксперимента нужно производить сопутствующие измерения (скорость ветра, глубина видимости белого диска).

#### *Методика измерений*

Для осуществления гидрооптических исследований предлагается проводить измерения в следующих двух режимах:

- 1) измерения, совмещённые по времени с измерениями спутниковым датчиком цвета (собственно подспутниковый эксперимент);
- 2) измерения с использованием только аппаратуры, размещённой на борту судна.



Первый режим измерений наиболее важен, поскольку позволяет проводить проверку био-оптических алгоритмов и алгоритмов атмосферной коррекции, принятых для обработки данных спутникового датчика цвета. Второй режим используется в промежутках между подспутниковыми измерениями для анализа и развития био-оптических алгоритмов.

Для первого режима измерений необходимо использовать следующую методику измерений.

Перед пролётом спутника над заранее определённой акваторией производить съёмку района измерений на ходу судна с использованием буксируемого зонда AquaShuttle и датчика поверхностной температуры. По результатам этой съёмки выбрать месторасположение основной станции для подспутниковых наблюдений цвета моря.

Непосредственно перед пролётом спутника провести зондирование зондом NeilBrown, прозрачномером и зондом AquaShuttle, по данным которых выбрать горизонты, с которых будут отбираться пробы для биогеохимических измерений.

Число горизонтов должно зависеть от вертикальной стратификации оптических и гидрологических характеристик и быть в диапазоне от 5 до 10. В момент пролёта спутника необходимо осуществить измерения яркости восходящего излучения, коэффициента диффузного ослабления облучённости и произвести отбор проб с выбранных горизонтов. По окончании работ на основной станции аналогичные измерения по сокращённой программе выполнить ещё на четырёх станциях, отстоящих от основной на расстоянии не менее чем 1 км (число проб для биогеохимических измерений должно составлять не менее 2–5). Эти измерения необходимы для пространственного осреднения данных подспутниковых измерений в пределах элемента разрешения спутникового датчика цвета.

По окончании работ на станциях провести измерения на ходу судна между станциями, для оценки влияния мелкомасштабных неоднородностей на результаты измерений. Для учёта возможного влияния временных вариаций по окончании работ выполнить повторные измерения на основной станции по сокращённой программе.

Измерения во втором режиме нужно проводить по аналогичной методике, однако, из программы работ исключить измерения на дополнительных станциях и съёмку на ходу судна по окончании работ на станции.

### 1.3.3. Радиолокационные и альтиметрические исследования

Радиолокационные и альтиметрические исследования в рамках Эксперимента необходимо осуществить для оценки взаимосвязи между явлениями и процессами в океане, состоянием поверхности моря и обратным рассеянием радиолокационного сигнала, в значительной степени определяющим формирование радиолокационных изображений, а также получения и систематизации данных о проявлении различных процессов и явлений на поверхности океана.

Исследования необходимо провести в два этапа: предварительный и основной. На предварительном этапе необходимо собрать данные съёмки дистанционного зондирования в различных диапазонах, предварительных судовых съёмок и проанализировать полученную информацию с точки зрения определения регионов интереса в открытой части Норвежского моря (ОЧНМ) и норвежской экономической зоне (НЭЗ).

В основной части исследований необходимо провести исчерпывающее исследование выбранных на предварительном этапе регионов с привлечением данных дистанционного зондирования и гидрологической съёмки.

В Эксперименте предлагается провести съёмку полигонов в ОЧНМ, а также в НЭЗ для выделения динамически активных зон акватории и получения информации о распределении основных потоков Северо-Атлантического и Норвежского течений, влияющих на промысловые работы. С помощью научно-исследовательского судна (НИС), оборудованного соответствующей океанографической аппаратурой и приборами осуществить сбор основной гидрологической информации для проведения полноценного анализа данных.

На этом этапе Эксперимента необходимо собрать и обобщить синхронные контактные и дистанционные (радиолокационные, альтиметрические и радиотепловые) измерения наиболее интересных для промысловой океанографии явлений. Основное внимание в эксперименте нужно уделить исследованию фронтов и фронтальных зон, поверхностного волнения, поверхностных плёночных загрязнений и контролю за местоположением судов по данным радиолокационной съёмки.

Основными задачами радиолокационных и альтиметрических исследований поверхности моря в рамках Эксперимента должны стать:

- исследования пространственной изменчивости обратного рассеяния радиоволн на длине волны 2,5 см и установление связи этой изменчивости с неоднородностями морской среды;
- исследования пространственного распределения доли морской поверхности покрытой барашками в зонах гидрологических неоднородностей;
- исследования трансформации атмосферного пограничного слоя над неоднородностями подстилающей поверхности, связанными с мезомасштабной изменчивостью моря; выявление роли атмосферного пограничного слоя в формировании образа мезомасштабной изменчивости на поверхности моря;
- исследование динамики поверхности океана по данным спутниковой альтиметрии и сравнение полученных результатов с данными радиолокационной и тепловой съёмки;
- сбор и систематизация контактной квазисинхронной информации, необходимой для интерпретации спутниковых радиолокационных изображений.

Альтиметрическая информация с КА TOPEX/Poseidon должна выбираться из базы данных MGDR-B в соответствии с выбранным регионом исследований и обрабатываться в соответствии с рекомендациями изложенными в работе (Benada, 1993).

Гидрологические измерения должны проводиться на ходу судна на разрезах, расположенных в пределах полосы обзора радиолокатора (ERS-2 (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/e/ers-2>), Radarsat (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/r/radarsat-1>), «Океан» (Левашов и др., 1997)) и ориентированных по нормали к основным гидрологическим особенностям. Контроль текущей гидрологической обстановки должен оперативно осуществляться с помощью судовой и береговой станций приёма данных с ИСЗ NOAA.

При проведении разрезов на ходу судна необходимо непрерывно регистрировать характеристики атмосферного пограничного слоя, интенсивность обрушений (комплексом Дидикон), уровень обратного рассеяния морской поверхности (скаттерометром), пространственно-временные изображения поверхности на масштабах гравитационно-капиллярной ряби (оптическим волнографом). Получение частотных спектров волнения необходимо осуществлять при помощи акселерометрического волнографа в условиях дрейфующего судна при его периодических остановах. Информация о доле поверхности, покрытой барашками, должна выдаваться на дисплей в реальном времени, что позволит оперативно контролировать ситуацию по наличию особенностей в распределении интенсивности обрушений.

Время проведения гидрологических съёмок необходимо синхронизировать со сроками радиолокационного и теплового зондирования с КА ERS-2, «Океан» и NOAA.

### 1.3.4. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 1.3.4.1. Измерения вертикального распределения гидрологических характеристик и интенсивности флуоресценции хлорофилла

Измерения необходимо проводить для анализа гидрологической ситуации в районе подспутникового эксперимента и оценки стратификации основных параметров толщи воды, включая концентрацию хлорофилла. По результатам этих измерений на станциях нужно осуществлять прицельный отбор проб для биогеохимических измерений. Измерения предлагается выполнять CTD-зондом NeilBrown (Левашов и др., 1997)

и зондом Aquashuttle (Левашов, 1999; Левашов и др., 1997). Зонд NeilBrown с системой Rosette (Левашов и др., 1997) нужно использовать также для отбора проб для биогеохимических измерений.

Всю информация, получаемая с зондов, необходимо записывать в базу данных рейса. Информация о температуре должна обрабатываться оперативно и использоваться при решении оперативных задач Эксперимента. Одновременно предлагается осуществлять забор проб воды кассетным батометром Rosette на различных глубинах, имеющих повышенное содержание флуоресцирующих частиц. На переходах между станциями необходимо выполнять зондирование полигонов буксируемым зондом AquaShuttle.

Океанологические исследования необходимы для изучения возможности их использования для оценки условий обитания биологических объектов, установления взаимосвязи с биологической продуктивностью вод, а также выделения районов с благоприятными для формирования скоплений рыб условиями.

#### 1.3.4.2. Измерения пространственных распределений гидрологических и оптических характеристик в районе подспутниковых полигонов

Анализ мелкомасштабной пространственной изменчивости гидрологических и био-оптических характеристик необходим для корректного сопоставления спутниковых и подспутниковых данных. На станциях для этой цели использовались многократные зондирования прозрачномером Дельфин. До и после станций гидрологические измерения необходимо проводить на ходу судна на системе галсов, пересекающих полигон при помощи буксируемого зонда Aquashuttle, датчика поверхностной температуры и измерителя индекса цвета.

#### 1.3.5. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гидрохимические исследования необходимо проводить для изучения абиотических факторов среды обитания живых организмов, химической основы первичной биопродуктивности вод, оценки запасов биогенных элементов (азота, фосфора, кремния) в фотическом слое и их пространственно-временной изменчивости.

Комплекс гидрохимических исследований должен включать определение растворённого кислорода, минерального и органического фосфора, кремнекислоты, различных форм азота (органического и минерального, в том числе нитратов, нитритов, аммония и мочевины) в акватории исследуемого полигона.

Горизонты отбора проб для гидрохимического анализа, как по экстремумам, так и по стандартным горизонтам необходимо выбирать в соответствии с показаниями океанологического CTD-зонда NeilBrown.

Биогенные элементы необходимо определять на проточных автоанализаторах RFA-300 фирмы Alpkem и AA-IIIC фирмы Technikon по методикам, модернизированным применительно к данной аппаратуре: фосфаты — с аскорбиновой кислотой и молибдатом аммония; кремний — с хлористым оловом, винной кислотой и молибдатом аммония; нитриты — с сульфаниламидом и N-I-нафтилэтилендиамином дигидрохлоридом; нитраты должны определяться после восстановления с помощью кадмиевой колонки до нитритов. Аммонийный азот необходимо определять по методу Седжи-Солорзано (Методы..., 1978) с гипохлоритом и фенолом. Валовые азот и фосфор — после сжигания с реактивом Вальдерама в кипящей водяной бане. Мочевина должна быть определена по методу Рахматулла и Бойда с диацетилмонооксимом и тиосемикарбозидом.

#### 1.3.6. БИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Биохимические исследования необходимо провести для изучения распределения и скоростей преобразования органического вещества (ОВ) и его основных биохимических компонентов, что очень важно для понимания процессов, формирующих

и поддерживающих экосистему Норвежского моря. Для этого в ходе экспедиционных работ необходимо проводить измерения концентраций растворённого органического углерода ( $C_{орг}$ ), а также основных биохимических компонентов растворённого и взвешенного ОВ (белков, углеводов, липидов и нуклеиновых кислот), а также отбирать пробы взвеси для определения взвешенного органического углерода и азота на CNH-анализаторе. Скорости преобразования ОВ должны быть оценены исходя из измеренных активностей окислительно-восстановительных ферментов электрон-транспортной системы (ЭТС) и щелочных фосфатаз.

Отбор проб воды для биохимического анализа необходимо проводить из пластиковых батометров STD-зонда NeilBrown. Воду из батометров необходимо сливать в полиэтиленовые канистры через газ с ячейками 60 мкм для отделения зоопланктона и крупного фитопланктона. Взвесь нужно собирать на стекловолокнистые фильтры GF/F (0,2...0,5 мкм), предварительно прокалённые при 480 °С. Из собранной взвеси вместе с фильтром приготовить гомогенаты в ручном стеклянном гомогенизаторе. Затем в воде после фильтрации и в полученных гомогенатах определить концентрации основных биохимических компонентов РОВ и ВОВ по методикам, описанным в справочнике (Агатова и др., 1991).

Определение растворённого органического углерода необходимо проводить методом высокотемпературного сжигания на платиновом катализаторе в токе кислорода на приборе ТОС-500 фирмы Shimadzu.

Взвесь и растворённое органическое вещество в регионе исследований также получить по результатам дистанционного зондирования поверхности акватории.

## 1.3.7. ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.3.7.1. Определение концентраций фитопигментов

Исследования фитопигментов, в частности хлорофилла, имеют большое значение для оценки биомассы фитопланктона, его физиологического состояния и биопродуктивности вод.

Определение хлорофилла необходимо проводить параллельно двумя методами: флуоресцентным и спектрофотометрическим. С помощью погружаемого флуориметра Aquatrack, присоединённого непосредственно к океанологическому STD-зонду NeilBrown нужно непрерывно регистрировать интенсивность флуоресценции хлорофилла "а" до глубины зондирования.

Одновременно с отдельных горизонтов, выбранных в соответствии с показаниями STD-зонда (поверхность, слой максимума флуоресценции, над слоем скопления фитопланктона и под ним), нужно отобрать пробы для определения хлорофиллов "а", "b", "с" и феофитина "а" стандартным спектрофотометрическим методом в модификации ИО РАН (Руководство..., 2003).

Оценку определения концентрации хлорофилла необходимо провести также и спутниковые измерения цвета океана.

### 1.3.7.2. Определение первичной продукции

Оценка первичной продукции должна выполняться для получения количественных связей между поверхностным содержанием фитопигментов и скоростью фотосинтеза в эвфотическом слое.

Определение первичной продукции должно осуществляться при помощи радиоуглерода  $^{14}C$  (Кабанова, 1980) и на основе кислородного скляночного метода (Бульон, 1983) на борту судна в специальном проточном инкубаторе с использованием нейтральных фильтров, имитирующих условия на различных глубинах.

### 1.3.7.3. Исследования фитопланктона

Оценка численности и биомассы доминирующих видов фитопланктона необходимо проводить из батометрических проб, отобранных CTD-зондом NeilBrown. Также необходимо провести изучение физиологического состояния, продукционных характеристик и фотоадаптационных механизмов отдельных видов планктонных водорослей.

### 1.3.7.4. Исследования зоопланктона

Исследования зоопланктона необходимо провести для оценки связи между цветностью вод и содержанием зоопланктона, составляющего кормовую базу для промысловых рыб. Измерения необходимо выполнить при помощи прибора AquaShuttle, как на станциях, так и на ходу судна.

Количественная оценка мезозоопланктона необходимо провести из большого батометра комплекса Rosette (объёмом 40 л) с последующим выделением доминирующих видов, оценкой их численности и биомассы. Специальные определения желетелых гидробионтов (медуз, гребневиков и т.д.) должны быть выполнены при помощи тотальных ловов сетью Джели в толще (0-дно).

## 1.3.8. ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Количественная оценка загрязнений поверхностных вод позволяет выделить антропогенную составляющую в цветности вод и установить их влияние на физиологическое состояние водорослей, скорость фотосинтеза и деструкционных процессов минерализации органического вещества.

В ходе этих исследований необходимо провести отбор проб и осуществить предварительную обработку полученной информации для последующего определения тяжёлых металлов, нефтяных углеводородов, хлорорганических пестицидов, ПАУ, фенолов.

## 1.3.9. ОБРАБОТКА ПОЛИГОННЫХ СЪЁМОК

Для формирования карт распределения основных гидрологических полей с последующей оценкой промыслового потенциала региона исследований необходимо осуществлять работы по обработке информации полигонных съёмок с использованием вычислительных машин на борту НИС в режиме близком к режиму реального времени.

Подобный подход позволит формировать промысловый прогноз на ближайшие сутки и оперативно валидировать результаты научных исследований при помощи оценки объёмов вылова судами промыслового флота.

## 1.3.10. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Акватория для проведения Эксперимента необходимо выбирать с учётом многолетних данных нагульного ареала скумбрии в Фарерской зоне и открытой части Норвежского моря (см. рисунок 1.1);

Основные средства получения информации, которые необходимо использовать в рамках Эксперимента.

- промысловые суда:
  - а) российские промысловые суда, передававшие судовые суточные донесения (ССД) по форме 7.94, оборудованные датчиками ARGOS (20 ед.), с установленными бортовыми компьютерными комплексами (2-3 ед.);
  - б) штабное судно, оборудованное бортовым компьютерным комплексом;
  - в) научное судно ВНИРО, основной задачей которого является проведение комплекса научных исследований по тестированию технологий спутникового зондирования;

г) иностранные суда, которые вели промысел скумбрии.

- самолёт-лаборатория, необходимый для обеспечения оперативного поиска промысловых концентраций скумбрии, сбора комплексных данных и отработки информационных технологий решения практических задач информационного обеспечения промысла во взаимодействии с Европейским центром производственно-экологического мониторинга;
- европейский информационно-процессинговый центр (НТФ «Комплексные системы», Мурманск).

Взаимодействие объектов полигона в период эксперимента для обеспечения производственных задач должно определяться информационно-технологическими схемами и спецификацией передаваемых информационных потоков (рисунки 1.1–1.4).



Рисунок 1.2. Производственная программа эксперимента «Норвежское море – 97»



**Рисунок 1.3.** Принципиальная структурно-функциональная блок-схема бортовой мониторинговой компьютерной системы

### 1.3.10.1. Мониторинг акватории нагульного ареала в предшествующий период

В период подготовки к проведению Эксперимента (март – июнь 1997 г.) осуществлялся мониторинг состояния гидрометеорологических параметров и процессов, определявших условия формирования скоплений скумбрии. Работы необходимо осуществлять силами специалистов НТФ «Комплексные системы», ПИНРО и ВНИРО в соответствии с рабочей программой между этими организациями.

В рамках подготовительного периода (приложение 1) необходимо провести системную диагностику состояния макросиноптических процессов и гидрологического состояния моря по метео Данным и данным космического мониторинга: ИК-радиометрия, РСА и РЛС БО, ретроспективным и текущим данным международных июньских съёмок.

В период май – июнь 1997 г. необходимо организовать мониторинг промысла в Фарерской зоне. Проанализировать и классифицировать характерные особенности промысловых ситуаций текущего периода. В период июня – начала июля 1997 г. провести оценку состояния гидрологических условий Норвежского моря по данным международной июньской съёмки. Необходимо организовать режим оперативной передачи биолого-промысловых данных на Европейский центр мониторинга (НТФ «Комплексные системы», Мурманск).

С учётом собранной на предварительном этапе информации необходимо подтвердить, в том числе, наличие квазистационарных мезомасштабных вихревых структур в регионе проведения Эксперимента.

### 1.3.10.2. Уточнение сроков и координат микросъёмок и полигонных наблюдений

На основании анализа состояния протекания промысла (Фарерская зона) и формирующих природных процессов необходимо уточнить план съёмок гидрологического полигона в основной части Эксперимента для научного судна НИС «Академик Борис Петров» (ВНИРО) (в конце июня – начале июля, см. рисунок 1.1). Определить сроки выполнения микросъёмки на предполагаемых участках выхода скумбрии в открытую часть моря.

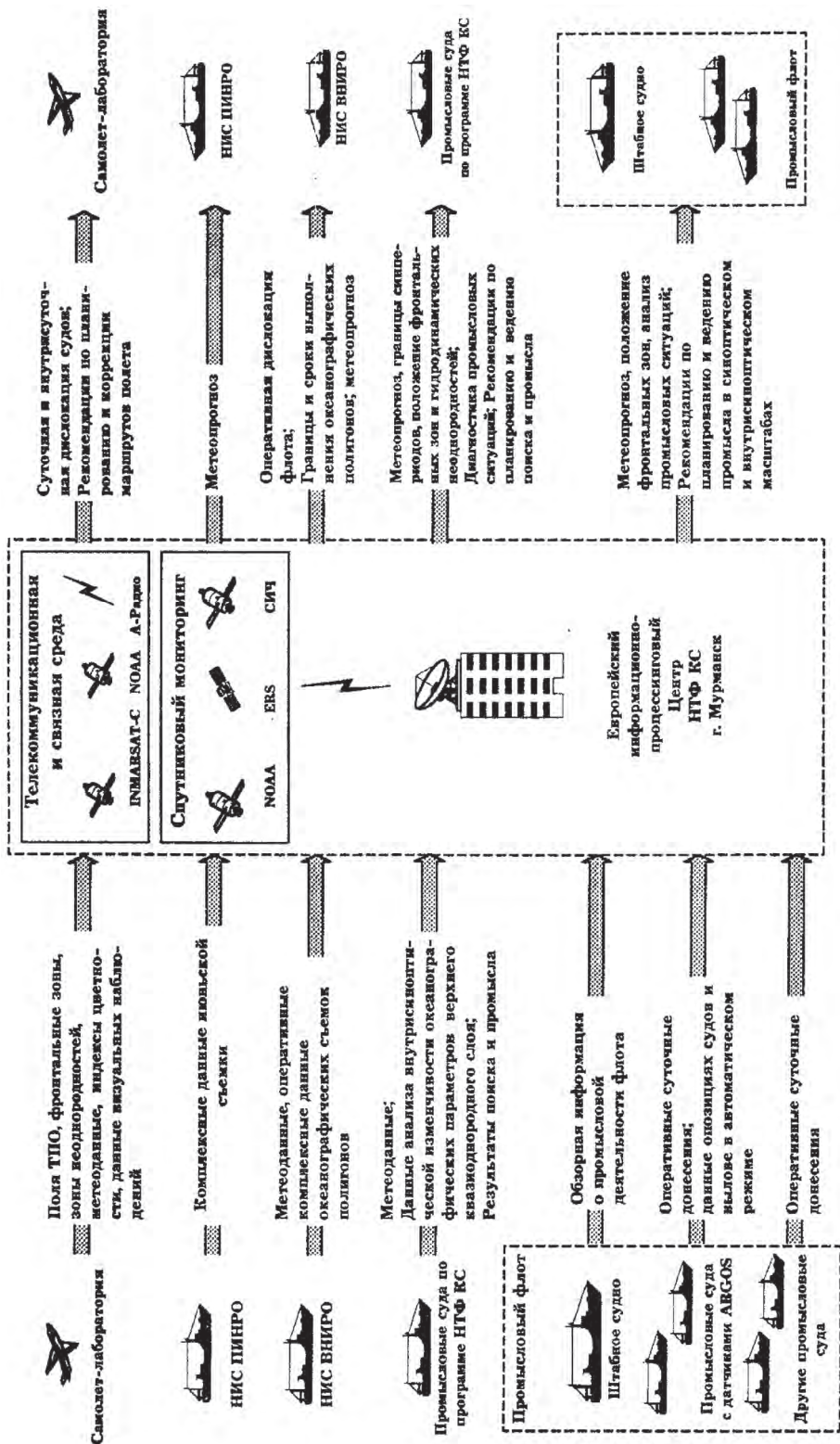


Рисунок 1.4. Блок-схема информационного обеспечения задач в ходе эксперимента «Норвежское море-97»



### 1.3.10.3. Адаптация бортового компьютерного комплекса к условиям работы в Норвежском море на промысле скумбрии

По результатам исследований НТФ «Комплексные системы» совместно со специалистами ПИНРО в период март – июнь 1997 г. должны провести работы по настройке и адаптации программных средств бортового комплекса планирования и принятия решений к условиям промысла скумбрии. На основе анализа ретроспективных данных состояния среды и особенностей промысла скумбрии в открытой части моря нужно осуществить классификацию промысловых ситуаций и настройку программных средств.

Для проведения эксперимента необходимо создать программное обеспечение картографической информационно-справочной системы для района промысла скумбрии. Кроме того, нужно разработать исследовательский прототип программных средств системы планирования и принятия решений.

## 1.3.11. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ» ЭКСПЕРИМЕНТА

### 1.3.11.1. Задачи Европейского информационно-процессингового центра производственно-экологического мониторинга

Европейский информационно-процессинговый центр производственно-экологического мониторинга должен осуществлять:

- приём и обработку ежесуточных промысловых данных ССД-7.94 судов Северного бассейна;
- приём и обработку ежесуточных данных судов Западного бассейна (телекоммуникационная связь Мурманск — Калининград);
- приём и обработку данных от судов оборудованных датчиками ARGOS (данные квазиреального времени о траекториях переходов судов и галсов тралений);
- приём и обработку промысловых данных от штабного судна по согласованному формату;
- приём оперативной информации от самолёта-лаборатории: фронтальность, ТПО, цветность, сопутствующие косвенные признаки, положение судов иностранного флота;
- приём оперативной информации научно-исследовательского судна ВНИРО: данные контактных океанографических измерений и биопродуктивности (суточный масштаб);
- приём и интерпретацию информации спутников NOAA и радиолокационного спутника ERS. Согласование спутниковых данных с результатами других измерений;
- анализ закономерностей текущего формирования промысловых ситуаций в суточном и синоптическом масштабах;
- подготовка и передачу на штабное судно результатов диагноза промысловой обстановки (с учётом обобщения комплексных данных и данных спутникового позиционного контроля промысловых судов);
- подготовку и передачу обобщённых данных по диагностике промысловых ситуаций, данных контроля местоположения судов и оперативных рекомендаций для оптимизации планирования полётов самолёта-лаборатории;
- отработку технологий информационного взаимодействия с самолётом-лабораторией на маршруте в реальном времени и передачу рекомендаций по коррекциям маршрута (на основании обобщения текущего состояния дислокации групп судов по данным спутникового контроля);
- отработку технологий выработки рекомендаций (синоптический масштаб) для оптимизации сроков оперативных вылетов самолёта-лаборатории на основе анализа текущих синоптических процессов (методика Савичева (Черноок, 1991)) и сопоставительного анализа изменчивости промысловой обстановки;
- проведение расчётов и подготовку оперативных рекомендаций по тенденциям изменчивости промысловых ситуаций для штабного судна в синоптическом масштабе (на период естественный синоптический период (ЕСП) с текущим внутривременным уточнением);
- проведение стандартной и специализированной информационной поддержки промысла.

### 1.3.11.2. Задачи штабного промыслового судна

Штабное промысловое судно должно осуществлять:

- приём и усвоение на бортовом компьютерном комплексе информации процессингового центра, функциональная блок-схема информационного взаимодействия приводится на рисунке 1.2;
- приём и усвоение информации самолёта-лаборатории;
- приём и усвоение информации научно-исследовательского судна ВНИРО;
- выработку и передачу оперативных рекомендаций для промыслового флота.

### 1.3.11.3. Промысловые суда

Промысловые суда, работающие в акватории проведения Эксперимента должны обеспечивать решение следующих задач:

- приём и усвоение на приёмных комплексах оперативной информации от прочих судов, участвующих в Эксперименте, Мурманского центра и самолёта-лаборатории;
- передачу информации о результатах промыслового поиска — лова штабному судну и в Мурманский центр.

### 1.3.11.4. Самолёт-лаборатория

Самолёт лаборатория привлекается для решения задач:

- по сбору и обработке на бортовом вычислительном комплексе данных радиометрии (данные радиометра и тепловизора, построение полей ТПО, идентификация фронтальных зон);
- сбору данных и пространственно-временное фиксирование событий (цветность, косяки рыб, киты, касатки, дельфины, птицы, суда и вид их деятельности и т.п.);
- сбору метеорологических данных (температура воздуха, влажность, скорость ветра, направление ветра, давление воздуха);
- сбору данных цветности моря (спектрометрический комплекс, карты индекса цветности);
- сбору данных радиолокатора бокового обзора (в полосе 80 км идентификация положения и картирование фронтальных зон, косяков рыб, судов, крупных китов, зон вергенций);
- обработке оперативных данных и передача обобщённых комплексных карт состояния среды и объектов;
- передаче комплексной оперативной и обобщённой информации штабному судну, флоту и информационному центру (Мурманск);
- приёму информации Мурманского центра, радиопереговоры с промысловым флотом.

### 1.3.11.5. Научно-исследовательское судно ВНИРО

Научно-исследовательское судно ВНИРО должно осуществлять:

- проведение комплексных измерений на полигонах;
- передача данных штабному судну и в Мурманский центр.

## 1.3.12. ИССЛЕДОВАНИЯ С БОРТА САМОЛЁТА-ЛАБОРАТОРИИ

Исследования с борта самолёта-лаборатории необходимо провести для изучения пространственной структуры гидрофизических и динамических полей, их мезо- и более мелкомасштабной изменчивости, распределения и поведения скумбрии, сельди и других сопутствующих им объектов (морские млекопитающие, крупные скопления птиц и т.д.).

Основными целями и задачами натурной (полевой) части исследований в рамках Эксперимента должны быть:

- подготовка, организация и проведение натурных исследований на акватории Норвежского моря с борта специально оборудованного самолёта-лаборатории и НИС с широким

- привлечением разнообразной спутниковой информации для оперативного сбора данных о текущем гидрофизическом и динамическом состоянии акватории исследований с целью оценки их мезо- и более мелкомасштабной изменчивости, а также для оценки распределения скумбрии, сельди и других биологических объектов, косвенным образом отражающих их наличие (морские млекопитающие, крупные скопления птиц и т.д.);
- подготовка на основе собранной текущей информации оперативных краткосрочных рыбопромысловых прогнозов и управленческих решений с целью их дальнейшей проверки промысловыми или научно-исследовательскими судами, имеющими необходимое промышленное вооружение;
  - регулярное информационное обеспечение научно-методической части эксперимента.

### 1.3.12.1. Комплексная авиационная съёмка

Комплексная авиационная съёмка должна выполняться с целью корректировки данных спутникового зондирования, отработки методов и принципов надёжного анализа и интерпретации информации КА на основе получения оперативного в реальных координатах и времени текущего материала о гидрофизическом и динамическом состоянии морской поверхности, распределении косяков скумбрии, сельди и других биологических объектов. Комплексные авиационные исследования необходимо проводить в тесной координации с судовыми съёмками.

При организации и выполнении авиационных исследований целесообразно и экономически выгодно осуществлять их с борта среднего специально оборудованного самолёта-лаборатории, в наших условиях типа Ан-26 БРЛ (Ан-26) с временным базированием в аэропортах на побережье Норвегии (Тромсё, Аллесунд, Берген). Такой подход позволит обеспечить снижение затрат, по сравнению с другими типами самолётов, и в первую очередь — Ил-18Д, за счёт более низкой арендной платы за Ан-26 БРЛ при аналогичной с Россией стоимостью за аэродромное базирование и авиационное обслуживания.

Авиационные исследования необходимо осуществлять в два этапа, каждый из которых должен иметь общую продолжительность по 35 ч полётного времени, что соответствует 3–5 вылетам, количество которых определяется текущими метеоусловиями и успешностью выполнения съёмки на данном вылете или этапе в соответствии с поставленными целями и задачами. Первый этап должен быть осуществлён в первой декаде июля, а второй — во второй половине июля.

Общие сроки осуществления авиасъёмок определены, исходя из биологических особенностей поведения скумбрии и сельди, многолетних данных о ходе промысла указанных объектов и возможностью судового обеспечения авиационных исследований. Более точно периоды авиационных работ необходимо установить позднее, в зависимости от складывающейся и прогнозируемой океанологической ситуации и промысловой обстановки.

Судовое обеспечение комплексных авиационных съёмок необходимо для калибровки, корректировки и адаптации данных авиационного зондирования с целью их надёжной интерпретации и привязки к ним результатов спутникового зондирования. При проведении первого этапа авиационных исследований в качестве реперных судовых данных необходимо использовать результаты съёмки, полученные во время проведения традиционных ежегодных исследований летних нагульных миграций сельди, в которых принимает участие одно из НИС ПИНРО. Дополнительно в это время ПИНРО должно привлечь для вышесказанных целей и данные иностранных НИС, занятых в исследованиях нагульных миграций сельди и скумбрии.

На втором этапе в качестве реперных судовых данных необходимо использовать материалы съёмки, выполненной НИС ВНИРО, которое должно быть оборудовано измерительными средствами аналогичными аппаратуре НИС ПИНРО и должно иметь возможность выполнять контрольные траления.

На этих этапах целесообразно привлекать также любую другую доступную информацию. Например, данные от судна погоды «М», научно-поисковые суда (НПС) Западного бассейна и, в частности, АтлантНИРО.

Комплексные авиасъёмки необходимо выполнять по специально разработанным маршрутам, галсы которых проложены в направлении перпендикулярном максимальной изменчивости гидрофизических параметров. Кроме этого, нужно учитывать текущее на момент съёмки термическое и динамическое состояние акватории исследований, а также — биологическое состояние скумбрии и сельди и развитие их промысла. При этом на отдельных участках авиационные галсы должны совпадать с галсами судов, которые участвуют в комплексном Эксперименте.

### 1.3.12.2. Самолётное оборудование

При проведении комплексных авиационных съёмок зондирование морской поверхности необходимо осуществлять в видимом, инфракрасном и радиодиапазонах электромагнитных длин волн. При этом в качестве основных измерительных средств используется следующее оборудование.

**1. ИК-радиометр** — предназначен для измерения температуры ТПО по трассе полёта. По данным измерений ТПО восстанавливается её пространственная структура, анализ которой позволяет идентифицировать фронты, вихри, меандры и другие гидродинамические неоднородности, косвенным образом влияющие на формирование промысловых скоплений скумбрии или сельди при определённых тепловых условиях.

**2. Спектрорадиометр** — предназначен для измерения оптических характеристик морской поверхности, по которым в дальнейшем по эмпирическим уравнениям рассчитываются концентрации хлорофилла, анализ которых позволяет идентифицировать и выделить участки повышенной концентрации первичной биопродуктивности, являющейся одним из косвенных признаков благоприятствующих формированию промысловых скоплений скумбрии и сельди.

**3. Комплекс диагностики зон вергенций Дидикон** — осуществляет подсчёт количества пенных обрушений и площади поверхности моря покрытой пеной, что обеспечивает в дальнейшем, по определённым методикам, алгоритмам и технологиям, идентификацию зон конвергенции и дивергенции. При этом конвергентные участки благоприятствуют формированию промысловых скоплений скумбрии и сельди, так как здесь происходит накопление кормовой базы.

**4. Радиолокационный комплекс РСА** — предназначен для всепогодного радиолокационного зондирования морской поверхности с целью идентификации по полученным изображениям фронтальных зон, вихрей, меандров и других мезомасштабных гидродинамических неоднородностей, косвенным образом благоприятствующих формированию промысловых скоплений скумбрии и сельди.

**5. Фото- и видеосъёмочная аппаратура** — предназначена для съёмки наиболее интересных участков морской поверхности с точки зрения мезо-масштабной изменчивости, гидробиологических особенностей и других явлений, эффектов и объектов, в том числе судов, морских млекопитающих, крупных скоплений птиц и косяков рыбы.

**6. Метеорологический комплекс** — предназначен для измерения температуры и влажности заборного воздуха, а также скорости и направления ветра.

Наряду с инструментальным зондированием с борта самолёта-лаборатории необходимо осуществлять визуальные наблюдения за морской поверхностью и окружающим воздушным пространством, а также поиск косяков рыбы. Во время проведения визуальных наблюдений необходимо регистрировать:

- все явления и эффекты на морской поверхности гидродинамического и гидробиологического происхождения, оказывающие определённое влияние на формирование промысловых скоплений скумбрии и сельди (фронтальные разделы, вихри, меандры, наличие фито- и зоопланктона и т. п.);
- биологические объекты (морские млекопитающие, птицы), косвенным образом указывающие на наличие или возможное присутствие пелагических рыб, так как питаются ею;

- проявление различных видов загрязнений на поверхности моря;
- местоположение и основные характеристики различных объектов на морской поверхности, в том числе и судов, включая их принадлежность и вид деятельности;
- местоположение, размеры, форма, окраска, направление движения обнаруженного косяка рыбы;
- разнообразные атмосферные явления и эффекты с указанием их интенсивности.

Весь массив измеренной и полученной информации должен оперативно поступать в бортовую автоматизированную систему, где необходимо осуществлять предварительную обработку и корректировку. Далее данные должны записываться на магнитный носитель и выводиться на печать в виде протокола полёта в реальных координатах и времени, с учётом информации от глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для обеспечения необходимой точности привязки материалов комплексных авиасъёмок по пространству на местности.

Вся первичная информация, полученная во время полёта, записанная и хранящаяся на магнитных носителях, должна быть передана основным участникам эксперимента — ПИНРО, ВНИРО, НПФ «Комплексные системы», для проведения тематической обработки.

На борту самолёта-лаборатории специалистами ПИНРО необходимо осуществлять оперативную обработку, анализ, интерпретацию и обобщение полученных первичных данных, в результате должна быть получена карта комплексных авиационных исследований, на которой в виде условных обозначений отмечена полученная информация.

На основе анализа карты комплексных авиационных исследований специалистами ПИНРО должны быть подготовлены оперативные прогностические и управленческие решения, которые необходимо передавать на НИС, занятые в эксперименте. Кроме того, на промысловое судно, ближайшее к рекомендованному для промысла скумбрии или сельди участку, с целью его проверки, а также на судно, где находился представитель НПФ «Комплексные системы».

Для обмена информацией с судами самолёт-лаборатория должен быть оборудован средствами радиосвязи, работающими в УКВ- и КВ-диапазонах. По возможности необходимо использовать и факсимильные средства связи. Для оперативной передачи информации в ПИНРО с целью принятия среднесрочных прогностических решений необходимо использовать средства телефакса и электронной почты, а также система «Инмарсат».

### 1.3.12.3. Судовые съёмки

Судовые съёмки необходимо осуществлять с целью калибровки, привязки и адаптации результатов дистанционного авиационного зондирования, которые в свою очередь являются реперными по отношению к спутниковому зондированию.

Как уже отмечалось, при проведении судовых съёмок на первом этапе оперативной части эксперимента необходимо использовать одно из НИС ПИНРО, занятое в ежегодных традиционных международных исследованиях летних нагульных миграций сельди, которые выполняются по специальной программе, а на втором — НИС ВНИРО. В дополнении, на первом этапе кроме информации от НИС ПИНРО могут быть использованы данные иностранных судов, работающих в рамках международных исследований.

НИС ВНИРО должно быть оборудовано научно-исследовательским оборудованием аналогичным НИС ПИНРО и иметь возможность выполнять проверочные траления. По результатам судовых исследований необходимо получить следующие данные, которые могут служить калибровочными для авиационного зондирования:

- непрерывная регистрация ТПО по маршруту движения судна;
- вертикальные профили температуры и плотности воды;
- материалы эхолокации;
- данные отбора проб сетями Джели и Гензена;
- данные о цвете и прозрачности воды;

- результаты контрольных тралений, как по рекомендациям, выработанным по результатам авиасъёмки, так и независимо от них.

Для организации чёткого и надёжного обмена информацией между самолётом и судами необходимо обеспечить хорошо отработанную и налаженную радиосвязь на всех этапах натурной части эксперимента.

## 1.4. ОСНАЩЕНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА ВНИРО

В штатный комплекс судового оборудования НИС «Академик Борис Петров» (ВНИРО) должны входить следующие приборы.

Навигационное оборудование — штатная система судна по определению координат с помощью космической системы ГЛОНАСС/GPS.

Океанографическое оборудование — штатное оборудование судна, количество кабель-тросовых лебёдок ЛГГ-1 — три комплекта для одновременного погружения трёх зондов. БИТ с подводом информации в космическую лабораторию.

Кабельное соединение между научно-исследовательскими лабораториями судна с целью объединения ПЭВМ различных измерительно-вычислительных комплексов судна в локальную вычислительную сеть.

В радиолокационном эксперименте был использован следующий состав аппаратуры:

Скаттерометр «Сверчок» — длина волны 2,5 см, поляризация вертикальная (V) или горизонтальная (H).

Оптический комплекс Дидикон — позволяет регистрировать обрушения волн в полосе 0,5×200 м. Выходной сигнал — доля поверхности, покрытая барашковой пеной, осреднённая за 50 или 100 с. Для данного варианта прибора был возможен режим работы, когда записывается информация о каждом наблюдаемом обрушении, что позволяет определять характеристики обрушений, связанные с их размерами и формой.

Акселерометрический волнограф — позволяет определять частотный спектр поверхностных волн с частотами ниже 1 Гц (длиной больше 1,6 м).

Оптический волнограф — регистрирует яркость морской поверхности в 1000 элементов полосы, длина которой определяется углом визирования. Обработка сигнала позволяет получить оценки уровня спектра волн в диапазоне 0,01...1 м.

Метеокомплекс, состоящий из буксируемого в верхнем слое (0,5 м) датчик температуры воды «Бипт»; датчики температуры воздуха; измерители скорости и направления ветра на двух горизонтах; регистрирующее устройство на основе компьютера. Выходная информация осреднена за 50 или 100 с. Работа непрерывная. Для определения вектора скорости ветра на ходу судна необходима навигационная информация (скорость и курс корабля). Набор измерений позволяет определить скорость трения в воздухе и стратификацию атмосферы.

## 1.5. УЧАСТВУЮЩИЕ ОРГАНИЗАЦИИ И ИХ ОБЯЗАННОСТИ

В эксперименте предполагается участие представителей следующих организаций: ВНИРО, ПИНРО, НТФ «Комплексные системы», ИО РАН, НПО машиностроения и МГИ НАНУ.

ВНИРО — головная организация, остальные организации — соисполнители. Обязанности организаций, принявших участие в эксперименте, состояли в следующем.

## ВНИРО:

- осуществляет общую координацию и научно-методическое руководство проведением эксперимента и техническое руководство Экспериментом;
- участвует в разработке общей программы Эксперимента;
- осуществляет аренду и планирование работы НИС и промысловых судов для проведения подспутникового эксперимента;
- осуществляет непосредственное управление Экспериментом;
- участвует в проведении подспутниковых экспериментов, выполняет измерения датчиками и аппаратурой, установленной на НИС;
- осуществляет научное руководство анализом и обработкой результатов Эксперимента;
- осуществляет выпуск отчётных документов.

## НТФ «Комплексные системы»:

- участвует в разработке программы Эксперимента (Производственный раздел);
- участвует в проведении испытаний автоматизированных информационных технологий сбора, обработки и передачи экспериментальных данных;
- осуществляет выпуск отчётных документов.

## ПИНРО:

- участвует в разработке программы Эксперимента (в части самолёта-лаборатории);
- обеспечивает аренду самолёта-лаборатории;
- участвует в проведении полётов самолёта-лаборатории, выполняет измерения самолётными датчиками, проводит экспресс-обработку экспериментальных данных.

## ИО РАН:

- разрабатывает программу гидрооптических экспериментов;
- обеспечивает проведение подспутниковых экспериментов;
- проводит обработку результатов и выпускает отчётные документы.

## НПОМаш:

- участвует в разработке программы Эксперимента;
- организует съёмки с КА ERS;
- участвует в проведении подспутниковых экспериментов;
- принимает участие в анализе и обработке данных дистанционного зондирования и результатов Эксперимента.

## МГИ НАНУ:

- участвует в разработке программы Эксперимента;
- участвует в проведении подспутниковых экспериментов со своей аппаратурой;
- выполняет специальные измерения;
- принимает участие в анализе и обработке результатов Эксперимента.

# Глава 2. КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ИССЛЕДОВАНИЙ

## 2.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В конце 90-х гг. XX в. задача разведки рыбных ресурсов в районах промысла решалась главным образом на основе данных судовых наблюдений; иногда для этих целей привлекались самолёты-лаборатории. Контактным способом (с рыболовных и со специализированных научно-исследовательских судов) оценивались, как собственно биологические характеристики (объёмы и видовой состав, размеры особей и т.п.) рыбных ресурсов, так и связанные с ними гидробиологические, гидрохимические и гидрологические параметры среды. Очевидно, что и тогда, и в настоящее время в связи с общим ухудшением экологической ситуации, а также исходя из экономических соображений задача рационального использования рыбных ресурсов требует всё более глобального подхода, т.е. информация должна собираться регулярно и с широким пространственным охватом.

Самолётные средства являются промежуточным шагом в направлении расширения зоны охвата по сравнению с судами, однако подлинная глобальность и, главное, регулярность наблюдений могут быть обеспечены только космическими средствами. Очевидно, что несомненным преимуществом дистанционных средств является значительно меньшая стоимость съёмки в расчёте, как на единицу площади, так и на единицу информации. Самолётные средства и по этой позиции занимают промежуточное положение между контактными и спутниковыми инструментами.

Недостатком дистанционных средств является трудность интерпретации данных, так как модели преобразования параметров среды в принимаемые сигналы и далее в двумерные изображения всё ещё недостаточно проработаны. Тем не менее, многие выводы можно делать уже по внешнему виду пространственных вариаций плотности изображения, не вникая в их физическую природу.

Как нам представляется, конечной задачей всей активности вокруг этой проблемы должно стать создание отраслевой информационной системы регулярного мониторинга рыбопромысловых районов (Романов, 2004), представляющих наибольший интерес для российского рыболовного флота. Концепция этого мониторинга включает в себя следующие элементы:

- регулярную съёмку различными дистанционными средствами;
- передачу изображений в центр обработки;
- совместную тематическую интерпретацию разнородных данных и их обобщение;
- создание тематических карт распределения рыбных запасов;
- распределение интерпретационной информации между судами и береговыми центрами с помощью имеющихся средств связи (интернет, «Гонец», «Инмарсат» и др.).

Ключевым моментом этой системы является дешифрирование и интерпретация спутниковой информации. Здесь необходим комплексный подход. Различные, имеющиеся в наличии системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), дают информацию о различных параметрах морской среды. Так, ИК-изображения после соответствующей калибровки дают распределение температуры поверхности океана, РЛИ отражают динамику верхнего слоя (течения и зоны конвергенции), оптические многоспектральные изображения — прозрачность и цвет, радиовысотомеры — аномалии и высоту морской поверхности. Все перечисленные характеристики самым непосредственным образом влияют на распределение морских гидробионтов. Соответствующие системы, работающие в различных спектральных диапазонах, могут взаимодополнять друг друга. В частности активные радиолокационные системы и радиовысотомеры, в отличие от ИК и оптики, всепогодны и независимы от времени суток.

Кроме того, совершенно необходимым элементом является сбор метеоинформации, так как ветер и разность температуры вода-воздух существенным образом влияют на интерпретацию РЛИ.



В главе 2 рассматриваются результаты анализа трёх типов информации ДЗЗ: РЛИ КА ERS-2, карты аномалий морской поверхности высотомера КА TOPEX/Poseidon и ИК-изображения радиометра AVHRR КА NOAA.

Все типы данных используются для изучения градиентных зон — областей резких горизонтальных вариаций таких параметров среды как: температура и солёность на различных горизонтах, а также сдвигов течений. В качестве вспомогательных рассматриваются также РЛИ, полученные радиолокатором низкого разрешения КА «Океан», которые используются для оценки синоптической ситуации и крупномасштабных вариаций поля ветра.

Основным подходом к решению проблемы информационного обеспечения промысловых работ является сопоставление дистанционных и контактных измерений с судна с целью установления соответствия между ними, так как именно закономерности, выявленные из такого анализа должны лечь в основу создаваемой системы мониторинга (Романов и др., 1997б).

Для эксперимента выбран район ОЧНМ, отдельные работы предполагается проводить вдоль границы НЭЗ, а также непосредственно в экономической зоне Норвегии. Эти районы охватывают наиболее богатую запасами скумбрии область, где (в международных водах) в период проведения эксперимента (июль) обычно сосредоточена значительная часть рыболовного флота Российской Федерации.

Основными задачами деятельности в рамках космического мониторинга подстилающей поверхности, а также информационной поддержки исследований во время Эксперимента являлись:

- оперативный дистанционный мониторинг метеорологической обстановки;
- выявление градиентных зон и вихрей на поверхности океана по спутниковым изображениям в различных спектральных диапазонах;
- обеспечение режима оперативной связи и передачи информации с помощью спутниковой системы связи «Гонец-Д1»;
- ведение учёта промысловой обстановки в районе промысла;
- ведение базы данных по результатам измерений в период проведения научной экспедиции;
- подготовка информации и представление результатов обработки экспериментальных данных.

## 2.2. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ДЗЗ НА ПЕРИОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Концептуально проблема оценки биопродуктивности океана по данным ДЗЗ состоит из двух подзадач: как влияют физические характеристики деятельного слоя на биологические факторы (питательные вещества, корм и собственно рыбу), и каким образом эти же характеристики участвуют в формировании сигналов, принимаемых приборами ДЗЗ на борту КА. Кроме того, отдельной проблемой, важной для интерпретации РЛИ, является их калибровка и учёт при этом приповерхностного ветра.

### 2.2.1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Биологическая продуктивность моря определяется в самом общем виде процессами обмена веществ по цепочке питательные вещества – микроорганизмы – рыба. Поэтому необходимо ясно понимать каким образом гидрофизические условия в океане (в первую очередь температура, солёность и перемещения водных масс) влияют на каждый компонент этой цепочки. В Эксперименте при интерпретации данных ДЗЗ нами использовались данные по температуре, солёности и флуоресценции хлорофилла. Поэтому ограничимся рассмотрением вопросов, связанных с влиянием именно этих характеристик на биопродуктивность исследуемой акватории.

Сезонное чередование периодов прогрева и охлаждения вод океана в умеренных широтах приводит к тому, что увеличение биомассы весной и летом носит взрывоподобный

характер. Благодаря, в первую очередь, увеличению количества солнечной радиации количество питательных веществ в верхнем слое океана резко возрастает, и рыба мигрирует на север из тропических широт, где она зимует. По мере роста температуры воды рыба поднимается всё дальше на север, где продолжительность дня больше и, соответственно, выше биопродуктивность.

Известно, однако (Хела, Левасту, 1970), что каждый вид рыбы имеет оптимальный для своего существования диапазон температуры воды, в том числе, его нижний предел. В частности, для скумбрии (которая являлась основным объектом промысла в Норвежском море в период проведения экспедиционных работ в 1997 г.) этим нижним пределом температуры является 8 °С (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998). Рыба, движущаяся на север, от более высоких температур к более низким, замедляется у изотермы 8 °С, что приводит к уплотнению косяков. Таким образом, изотерма 8 °С является индикатором повышенной концентрации скумбрии в период промысла.

Другим индикатором служат области повышенной концентрации питательных веществ. Эти области формируются под воздействием горизонтальных и вертикальных течений. Здесь можно отметить в общих чертах два механизма:

- 1) концентрация питательных веществ выше как в зонах конвергенции (сходящиеся и опускающиеся воды оставляют у поверхности содержащиеся в них вещества), так и в зонах дивергенции (содержащиеся в глубинных слоях вещества выносятся на поверхность);
- 2) в северном полушарии питательные вещества имеют тенденцию концентрироваться на периферии циклонических круговоротов (где имеет место отток воды от центра к периферии благодаря действию силы Кориолиса), а также в центре антициклонических круговоротов (где по той же причине вода стремится от периферии к центру).

Кроме того, скопления рыбы тяготеют к областям столкновения холодных северных течений и тёплых южных (например, Исландского и Северо-Атлантического), так как в этих зонах сочетаются благоприятные температурные условия южных вод и повышенная концентрация питательных веществ, которыми богаты северные воды.

Из изложенного ясно, что указанные особенности приповерхностной динамики вод, во-первых, и определённые изотермы, во-вторых, являются теми объектами, которые, с одной стороны наиболее интересны для дистанционного зондирования, а с другой стороны служат как индикаторы повышенной концентрации рыбы. Исходя из этого именно этим объектам уделялось наибольшее внимание в комплексном контактно-дистанционном Эксперименте.

Особо следует сказать о флюоресценции хлорофилла. Эта характеристика не влияет непосредственно на радиационную температуру и сечение обратного рассеяния. Распределение флюоресценции по глубине отражает распределение концентрации хлорофилла, которая самым непосредственным образом влияет на биопродуктивность (Карабашев, 1987). Вместе с тем этот параметр измерялся с борта НИС и был доступен для анализа и непосредственно сопоставления с радиолокационными данными. Фитопланктон, концентрацию которого отражает хлорофилл, является основным продуктом питания для рыбы. Поэтому среди всех измерявшихся *in situ* параметров именно флюоресценция может рассматриваться как наиболее точный индикатор количества рыбы. Известно (Левасту, Ларкинз, 1987), что максимум концентрации фитопланктона в данном регионе в данное время приходится на глубины порядка 15...20 м. Горизонтальное же его распределение зависит от структуры течений и, следовательно, может служить дополнительным фактором верификации РЛИ и ИК-изображений.

### 2.2.2. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Из литературы (Левасту, Ларкинз, 1987; Хела, Левасту, 1970) известно, что из океанографических параметров наибольшее влияние на поведение рыбы оказывают температура воды, солёность и перемещения водных масс (течения и апвеллинг). Поэтому для целей промысловой разведки следует выбирать те средства дистанционного зондирования, которые дают наибольшую информацию о температуре и течениях (горизонтальных и вертикальных). Влияние солёности на микроволновое и инфракрасное излучение ещё

недостаточно изучено, хотя ясно, что оно крайне невелико по сравнению с температурой и динамикой вод.

Границы водных масс, образуемые полем скорости, как правило, сопровождаются температурными контрастами, поэтому получение достоверных данных о распределении ТПО даст максимально возможную информацию о состоянии исследуемой среды. Как следует из вышеизложенного, ТПО непосредственно влияет на биологические характеристики. Спутники серии NOAA с установленными на них 5-канальными радиометрами AVHRR показали свою высокую эффективность при проведении съёмки подстилающей поверхности (Романов, 1996; Романов и др., 1990, 1991), причём алгоритмы обработки позволяют оценивать с высокой точностью физическую температуру поверхности. Однако недостатками ИК-съёмки являются недостаточное разрешение (1 км) и зависимость от погодных условий (облачность).

С другой стороны, радиолокационная съёмка высокого разрешения (например, с РСА КА ERS-2) обладает всепогодностью, однако интерпретация РЛИ представляет значительно большую проблему, чем анализ ИК-данных. Поверхностная рябь, определяющая сечение обратного рассеяния, подвержена воздействию множества факторов, в числе которых и ветер, сдвиги течений и соотношение температуры вода-воздух и другие. Поэтому выделение из РЛИ полезной информации о ТПО напрямую практически невозможно. Более перспективно выявление из РЛИ поверхностной динамики (течений, апвеллингов, рингов и пр.) при условии, что разрешение не хуже нескольких десятков метров.

Проблеме интерпретации космических РЛИ посвящено множество работ. Значительное внимание уделялось и уделяется, в том числе, и интересующим нас явлениям, в число которых входят течения и их фрагменты (меандры и ринги), гидрологические фронтальные разделы, термические градиентные зоны, апвеллинговые явления (Ivanov, Ginzburg, 2002; Johannessen et al., 1996; Marmorino et al., 1994; Nilsson, Tildesley, 1996). Общей для всех этих явлений характерной особенностью является наличие температурных контрастов и сдвигов скорости течения. Обе эти особенности (а также их сочетание в той или иной пропорции) воздействуют на гравитационно-капиллярную составляющую спектра поверхностного волнения (ответственную за радиолокационное рассеяние), однако механизмы этого воздействия различны.

Принято классифицировать эти механизмы на четыре основные категории:

- кинематический механизм — модуляция поверхностной ряби за счёт перестройки её спектра на переменном течении;
- плёночный механизм — выстраивание плёнок ПАВ таким образом, что они «трассируют» течение;
- изменение конвективной устойчивости приповерхностного слоя атмосферы над участками с различной температурой воды;
- зависимость от температуры, солёности и плотности тех физических свойств воды, которые ответственны за взаимодействие с электромагнитным излучением (диэлектрическая проницаемость) и за формирование ряби (кинематическая вязкость и коэффициент поверхностного натяжения).

Порядок, в котором перечислены эти механизмы, примерно соответствует их значимости.

Многочисленные примеры изображений рингов и фронтальных зон в интересующем нас районе Норвежского моря приведены в работах (Ivanov, Ginzburg, 2002; Johannessen et al., 1994; Litovchenko et al., 1998, 1999). Отмечается существенная зависимость визуализации этих явлений от погодных условий — скорости ветра (главным образом) и параметра устойчивости атмосферы, который в свою очередь определяется разностью температуры воздух-вода. При ветре ниже  $\sim 2$  м/с уровень рассеянного сигнала недостаточен для формирования какого-либо изображения, а при ветре свыше  $\sim 10$  м/с практически все упомянутые механизмы не работают, т. к. их действие перекрывается интенсивной генерацией ряби за счёт ветровой накачки. Примерно то же происходит при развитии конвективной неустойчивости придонного слоя атмосферы, когда вода теплее воздуха (даже при отсутствии ветра).

Плёночный механизм (Ermakov et al., 1986) работает в районах с высокой биопродуктивностью, каковым, в частности, является и район Норвежского моря. Плёнки ПАВ образуются

в результате выхода на поверхность жирных кислот, образующихся при жизнедеятельность морской фауны. Они образуют на поверхности мономолекулярный слой и выстраиваются вдоль течений.

Ещё одним источником дистанционных данных о состоянии среды является радиоальтиметр КА TOPEX/Poseidon, который измеряет (в том числе) аномалии высоты морской поверхности. Мощные геострофические течения сопровождаются изменением уровня океана, что может фиксироваться альтиметром. Альтиметрические данные могут быть использованы для определения местоположения центров различных вихревых образований, градиентных зон и пр. и существенно дополнять понимание картины исследуемых процессов в регионе.

Поводя итог, можно отметить, что сочетание упомянутых средств ДЗЗ (радиовысотомера, радиолокационных и ИК) представляется весьма эффективным, так как простота интерпретации ИК-изображений дополняется всепогодностью радиовысотомера и РСА. В методологическом отношении это очень важно, ибо позволяет продвинуться в точности диагностики явлений по РЛИ используя ИК-данные. А также спутниковой альтиметрии. В перспективе это даст возможность эффективно использовать радиолокационную и альтиметрическую информацию в интересах промысла при неблагоприятных метеоусловиях.

## 2.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСТАНЦИОННЫХ СРЕДСТВ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе эксперимента 1997 г. в Норвежском море использовались три источника данных: ИК-изображения высокого разрешения с AVHRR КА NOAA, изображения РСА КА ERS-2 и изображения радиолокатора бокового обзора с реальной апертурой КА «Океан», а также данные радиовысотомера КА TOPEX/Poseidon. Кроме того, привлекалась информация о высоте морской поверхности, получаемая при помощи альтиметра, размещённого на борту космического аппарата TOPEX/Poseidon.

### 2.3.1. ПРИБОР AVHRR NOAA

Основными датчиками, устанавливаемыми на КА серии NOAA, являются: усовершенствованный радиометр высокого разрешения AVHRR и блок приборов вертикального зондирования атмосферы TOVS. Сканер AVHRR имеет пять каналов, работающих в видимом, ближнем и дальнем ИК диапазоне. Основное назначение каналов представлено в таблице 2.1.

**Таблица 2.1.** Основное назначение каналов прибора AVHRR

Канал	Длина волны, мкм	Основное назначение
1	0,58...0,68	Предсказание погоды, определение границ облачности, мониторинг снежного и ледового покровов
2	0,72...1,10	Определение границ водных поверхностей, мониторинг снеготаяния, оценка состояния растительности и с.-х. культур
3	3,55...3,93	Температура поверхности воды, наблюдение облачности ночью, определение границ земля/вода, наблюдение вулканической активности, мониторинг лесных пожаров
4	10,30...11,30	Температура поверхности воды, наблюдение облачности днём и ночью, определение влажности почв
5	11,40...12,50	Температура поверхности воды, наблюдение облачности днём и ночью, определение влажности почв

### 2.3.2. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «ERS-2»

Спутники Европейского космического агентства (ЕКА) ERS-1 и ERS-2 были запущены 17 июля 1991 г. и 21 апреля 1995 г., соответственно. На момент проведения эксперимента КА ERS-1 находился в законсервированном состоянии и доступной была информация с ERS-2.

Характеристики орбиты КА ERS-2:

- солнечно-синхронная круговая квазиполярная,
- наклонение  $98,5^\circ$ ,
- номинальная высота 785 км,
- время прохождения восходящего узла 10 ч 30 мин,
- период обращения 100 мин.

РСА, основной прибор на спутнике, работает на частоте 5,3 ГГц (длина волны 5,66 см в диапазоне С) с вертикальной поляризацией на приём и передачу. Технические характеристики РСА спутника ERS-2 в режиме получения изображений приведены в таблице 2.2.

**Таблица 2.2.** Характеристики космического аппарата ERS-2

Параметр	Значение
Частота радара	5,3 ГГц
Длина волны радара	5,66 см
Поляризация	ВВ
Импульсная мощность передатчика	4,8 кВт
Длительность импульса	37 мкс (ЛЧМ)
Частота повторения импульсов	1640...1720 Гц
Ширина полосы обзора по наземной дальности	100 км
Отношение сигнал/шум	8 дБ
Некогерентное накопление	3-кратное
Геометрическое разрешение в режиме FRI	25 м
Геометрическое разрешение в режиме LRI	100 м
Угол падения на середине полосы обзора	23
Наклонная дальность	850 км
R/V	130 с

Для получения доступа к радиолокационным изображениям был установлен контакт с Нансеновским Центром исследований окружающей среды и дистанционного зондирования (Норвегия). Приём информации и синтез изображений низкого разрешения в режиме on-line осуществлялся на Национальной станции приёма в Тромсё (Норвегия). Нансеновский Центр производил обработку изображений, включающую выравнивание коэффициента усиления диаграммы направленности антенны, пересчёт 16-битовых данных в 8-битовые, приведение изображений к размеру пиксела 100 м и географическую привязку. Затем изображения размещались на FTP сервере в течение 1...3 сут.

### 2.3.3. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «ОКЕАН»

Радиолокатор бокового обзора КА «Океан» (таблица 2.3) с достаточно низким пространственным разрешением (1...2 км) и широкой полосой захвата (500 км) использовался для общей оценки синоптической ситуации и крупномасштабных океанических и атмосферных процессов в районе проведения эксперимента и прилегающих областях Северовосточной Атлантики. Информация с КА «Океан» предоставлялась НПО «Планета».

**Таблица 2.3.** Характеристики космического аппарата «Океан»

Параметр	Значение
Средняя высота полёта	650 км
Угол наклона обрты	$82,5^\circ$
Угол падения луча	$21...43^\circ$
Длина волны	3,1 см
Поляризация (приём-передача)	ВВ
Размер антенны	11×0,04 м

Параметр	Значение
Средняя мощность зондирующего сигнала	30 Вт
Разрешение радиолокационного изображения (вдоль×поперёк траектории)	2,6×0,9 км
Ширина полосы захвата	460 км

### 2.3.4. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ TOPEX/POSEIDON

Космический аппарат TOPEX/Poseidon был разработан совместно NASA и CNES в целях изучения глобальной циркуляции мирового океана (Benada, 1993; <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/topex-poseidon>). На борту космического аппарата целый комплекс измерительных средств, включая альтиметр, который служит для определения высоты морской поверхности и её эволюции во времени.

Спутниковый радиовысотомер это, как правило, смотрящий в надир активный микроволновый сенсор, излучающий в диапазоне 13...14 ГГц. Излучаемый вертикально вниз импульсный сигнал взаимодействует с земной или морской поверхностью и отражается назад к антенне альтиметра. Время полного цикла прохождения импульса от прибора до поверхности и назад измеряется с высокой точностью, а затем с учётом скорости распространения электромагнитного излучения рассчитывается высота приёмной антенны спутника над отражающей поверхностью.

Основные параметры орбиты КА TOPEX/Poseidon представлены в таблице 2.4.

**Таблица 2.4.** Параметры КА TOPEX/Poseidon

Параметр	Значение
Высота орбиты	1336 км
Орбитальная скорость	7,2 км/с
Наземная скорость	5,8 км/с
Наклонение орбиты	66,04°
Половина основной оси орбиты	7714,43 км
Эксцентриситет	0,000095
Частота альтиметра	13,6/5,3 ГГц
Частота повторения импульсов	1/10 Гц
Длительность изомаршрутного цикла	9,9156 дней

## 2.4. ОПЕРАТИВНЫЙ ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА БОРТУ НИС

Для решения задачи оперативного метеорологического мониторинга на борту НИС «Академик Борис Петров» использовались информационные потоки двух типов:

- непосредственный приём спутниковых изображений от метеорологических спутников серии NOAA в видимом и инфракрасном диапазонах спектра в режиме АРТ (Романов и др., 1997а);
- приём по радиоканалам метеорологических карт, карт давлений, карт ТПО и т.д. от метеорологических центров.

Приём информации от метеорологических спутников осуществлялся с помощью автоматизированной станции приёма и обработки спутниковой информации «Мемосат» (ВНИРО) (Романов и др., 1996, 1997а). Ежедневно, в течение всего рейса со 02.07.1997 по 28.07.1997 осуществлялся приём от 4 до 8 снимков подстилающей поверхности в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра от метеорологических спутников NOAA-12 и NOAA-14. Всего в течение рейса было принято и обработано 147 снимков.

Приём и обработка изображений подстилающей поверхности, в зависимости от качества снимка, проводились следующим образом:

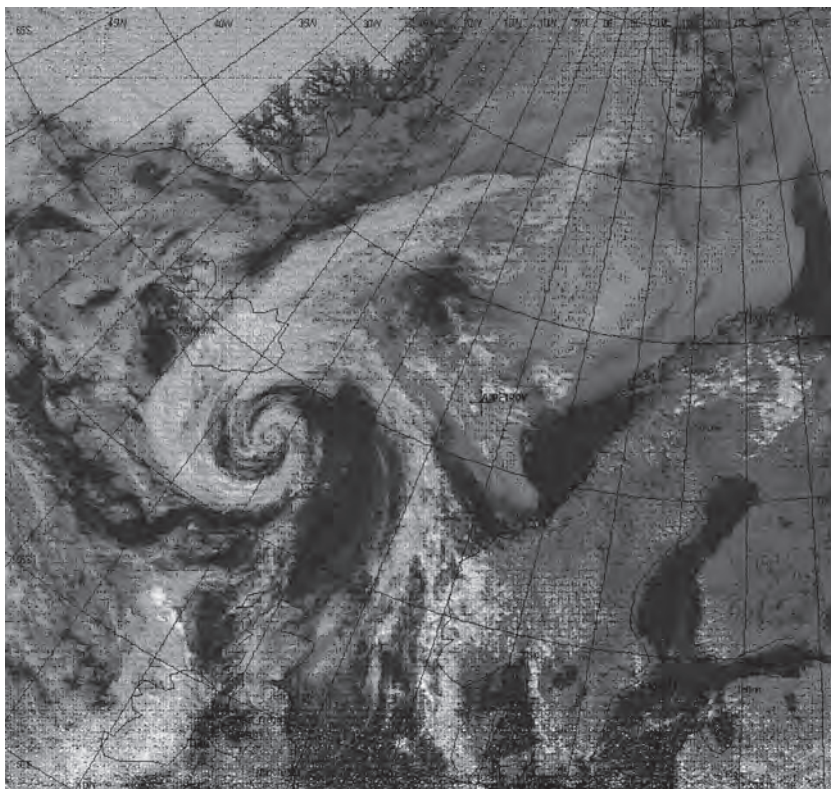
- расчёт сеанса приёма спутниковой информации;
- приём, дешифрация и запись информации на жёсткий диск;
- контроль качества принятого изображения;
- фильтрация помех и шумов (в случае необходимости);
- географическая привязка;
- тематическая обработка.

В состав процедур тематической обработки входили:

- анализ метеорологической обстановки;
- расчёт направлений и скорости движения циклонических образований;
- выявление фронтов погоды;
- выявления градиентных зон и вихрей при планировании проведения подспутниковых контактных измерений;
- расчёт значений ТПО для открытых участков поверхности океана.

За всё время проведения научной экспедиции наблюдалось всего несколько случаев наличия отдельных пятен открытой воды ограниченного размера на спутниковых изображениях в видимом и инфракрасном диапазонах. Как следствие, отсутствие достаточного количества открытых (без облаков) участков поверхности океана практически не позволило применить механизм расчёта значений ТПО.

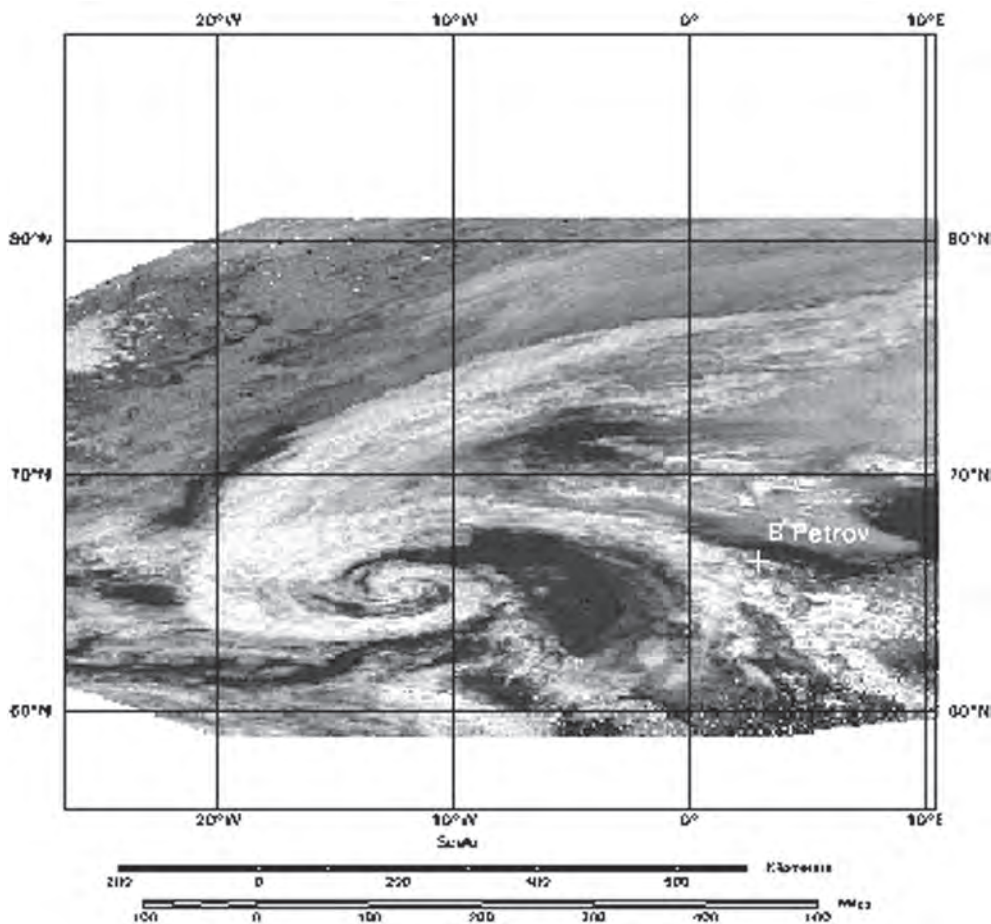
В качестве примера получаемой информации на рисунке 2.1 представлен снимок от 14.07.1997 (14:27 GMT) от спутника NOAA-14 с характерным случаем метеорологической обстановки на полигоне.



**Рисунок 2.1.** Изображение подстилающей поверхности от 14.07.1997 (14:27 GMT) от космического аппарата NOAA-14

Для дальнейшего использования и возможности составления композиционных изображений спутниковые снимки пересчитывались в стандартные географические проекции. Пересчёт осуществлялся с помощью пакета программ ERDAS IMAGINE. После пересчёта, географически привязанные изображения, могли быть использованы как покрытия (слои) для представления в геоинформационной системе. Формат этих изображений также удобен для организации информационных хранилищ и баз данных.

Для примера на рисунке 2.2 приведён спутниковый снимок от 14.07.1997 пересчитанный в стандартную географическую проекцию с помощью программного пакета ERDAS IMAGINE.



**Рисунок 2.2.** Изображение космического аппарата NOAA-14 в видимом диапазоне (14.07.1997 12:57 GMT), приведённого в стандартную географическую проекцию

Для обеспечения возможности всепогодного мониторинга на время проведения экспедиции была запланирована работа по приёму информации от КА «Океан», передающего изображения в сверхвысокочастотном диапазоне. Было проведено три сеанса приёма информации с указанного КА: 18.07.1997, 24.07.1997 и 26.07.1997, причём для приёма в условиях НИС были доступны только два последних снимка. Приём информации от КА «Океан» осуществлялся с помощью автоматизированной станции приёма спутниковой информации «Мемосат».

Принятая информация, а также информация с интерпретацией снимка от 18 июля 1997 г. (с указанием координат обнаруженных вихрей и градиентных зон), переданная из ВНИРО по каналам спутниковой системы связи «Гонец-Д1» ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Гонец\\_спутниковая\\_система\\_связи](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гонец_спутниковая_система_связи)), использовалась при планировании съёмки контактных измерений.

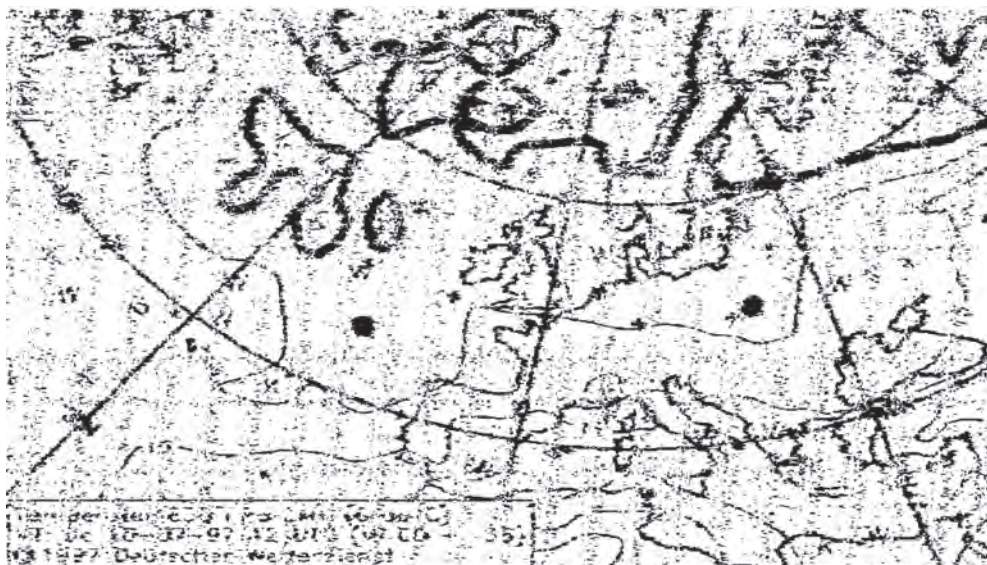


Важным источником получения оперативной метеорологической информации являются синоптические, метеорологические и другие карты, передаваемые метеорологическими центрами по факсимильным каналам связи. В условиях работы на полигоне в Норвежском море была доступна информация от метеорологических центров Нортвуд, Бракнел (Великобритания), Оффенбах (Германия).

Приём синоптических карт осуществлялся с помощью всеволнового радиоприёмника Rosetta (Австралия), выполненного в виде стандартной платы расширения для IBM PC совместимых компьютеров (шина ISA). Управление и настройка приёмника осуществлялась через интерфейсное программное обеспечение, разработанное для операционной системы Windows.

Дальнейшее преобразование сигнала, его ввод в ПК, дешифрация и запись на магнитный диск, осуществлялось с помощью звуковой платы (Creative) и программного обеспечения разработанного во ВНИРО (лаборатория новых информационных технологий).

Ежесуточно осуществлялся приём метеокарт и карт ТПО от центров Бракнелл (14 436 кГц), Нортвуд (6452,5 кГц, 8331,5 кГц) и Оффенбах (7880 кГц). Для примера на рисунке 3.3 приведён образец карты давлений от метеоцентра Оффенбах (Германия).



**Рисунок 3.3.** Образец карты давлений, метеоцентр Оффенбах (Германия)

Для дальнейшего использования принятые и записанные в виде файлов растровых изображений метеорологические карты преобразовывались в векторный формат с помощью комплекта программ EASY TRACE (Россия) (<http://www.easytrace.com>) и экспортировались в среду ArcView 3.0 GIS.

## 2.5. СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ГОНЕЦ-Д1»

Для обеспечения передачи оперативной текстовой и графической информации между ВНИРО, НТФ «Комплексные системы» и НИС «Академик Борис Петров» в период проведения научно производственного Эксперимента в Норвежском море использовалась система спутниковой связи «Гонец-Д1». Система базируется на использовании созвездия низкоорбитальных связанных спутников (во время проведения Эксперимента группировка насчитывала 6 КА) и автономных терминалов, радиопередающих устройств пользователя, работающих на частоте 244 мГц. Кроме этого, терминал, используемый на НИС, включал в свой состав датчик координатной привязки системы GPS. Такая конфигурация позволила провести

эксперимент по независимому позиционированию НИС при наблюдении за его местоположением на подспутниковом полигоне из ВНИРО.

За время работы с помощью системы «Гонец-Д1» было передано и принято следующее количество сообщений:

ВНИРО – НИС «Академик Борис Петров» . . . . .	28
НИС «Академик Борис Петров» – ВНИРО . . . . .	34
НТФ «Комплексные системы» – НИС «Академик Борис Петров» . . . . .	15
НИС «Академик Борис Петров» – НТФ «Комплексные системы» . . . . .	13
НИИ ТП – НИС «Академик Борис Петров» . . . . .	8
НИС «Академик Борис Петров» – НИИ ТП . . . . .	12

Следует отметить, что наряду с текстовой информацией были переданы:

- 2 фрагмента спутниковых снимков (снимок NOAA от 12.07.1997, снимок ERS-2 от 19.07.1997) по маршруту ВНИРО – НИС «Академик Борис Петров»;
- 2 карты ТПО (усреднённые за синоптический период);
- 15 сообщений о расстановке промышленного флота, от НТФ «Комплексные системы» на НИС «Академик Борис Петров»;
- 3 фрагмента разрезов по данным гидрологического зондирования с помощью зонда AquaShuttle, от НИС «Академик Борис Петров» в НТФ «Комплексные системы».

С учётом проведённых экспериментов можно было сделать следующие выводы:

- 1) оперативность передачи коротких текстовых сообщений составляет 0,5...4 ч;
- 2) передача и приём многопакетных сообщений (более 5...10 пакетов) могли затянуться до 3...5 сут;
- 3) программное сопровождение и интерфейс пользователя на терминале требовали доработки по увеличению надёжности сохранения информации (отдельных пакетов, баз данных и т.д.), сокращения служебной информации, не представляющей интереса для пользователя;
- 4) в модуле поддержки датчика GPS необходимо было устранить ошибки в представлении данных.

## 2.6. КОНТРОЛЬ ПРОМЫСЛОВОЙ ОБСТАНОВКИ В РЕГИОНЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БОРТУ НИС

Контроль и учёт промышленной обстановки проводился на основе информации о местоположении промышленных судов и вида проводимых работ, уловах и т.д. получаемой двумя способами:

- информация от флагмана флота после проведения промышленного совета;
  - информация от фирмы НТФ «Комплексные системы» о промышленной обстановке.
- Учёт и представление промышленной обстановки для последующего анализа проводился с помощью двух программных продуктов:
- программа представления дислокации промышленных судов, предоставленной НТФ «Комплексные системы»;
  - программная среда на основе ГИС ArcView 3.0 GIS.

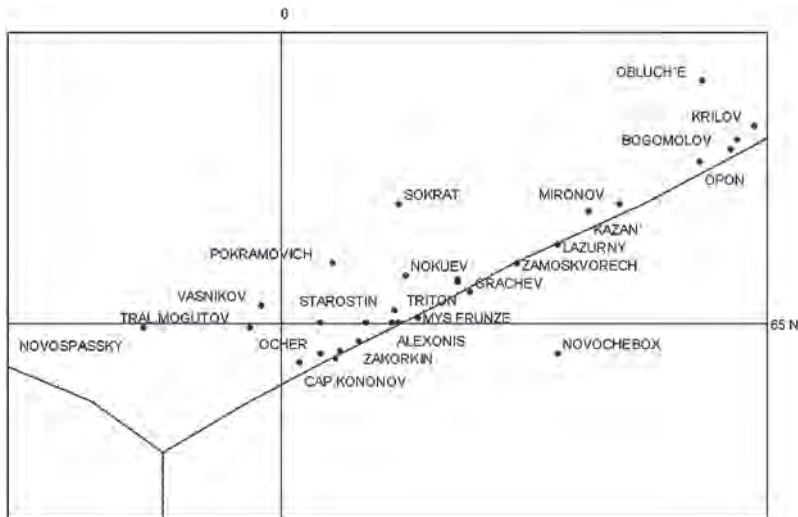
В результате сравнивалась полнота информации о промышленной обстановке от флагмана флота и получаемой по каналам спутниковой связи «Гонец-Д1». Сравнение показало идентичность данных потоков информации.

Оперативность получения информации от НТФ «Комплексные системы» составляла примерно 3 сут.

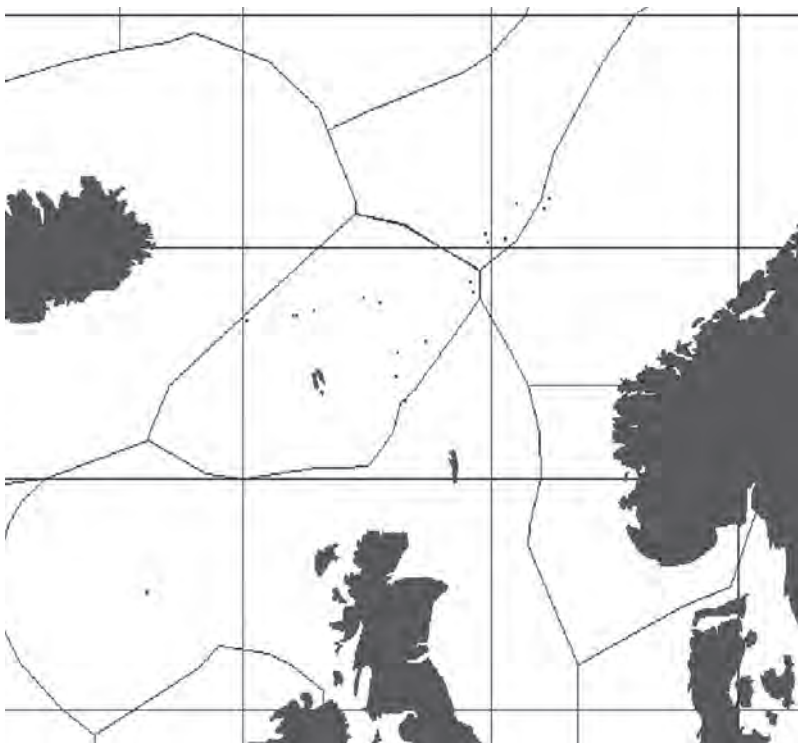
Программы представления дислокации промышленных судов практически несравнимы, так как вариант программы, представленный НТФ «Комплексные системы», представляет собой просто среду просмотра с ограниченными возможностями, а среда ArcView 3.0 GIS — полнофункциональная геоинформационная система представления и отображения данных.

Принятая информация о дислокации судов преобразовывалась в формат баз данных dBase и вводилась в виде покрытий (слоёв) в ГИС ArcView 3.0 GIS. При анализе промысловой ситуации на карте можно выбирать наряду с дислокацией судов информацию о состоянии промыслового района (метеобстановку, ТПО и т.д.).

Всего было подготовлено 23 файла данных о ежесуточном состоянии промыслового флота в районе промысла. Для примера на рисунках 2.4 и 2.5 представлены дислокации судов промыслового флота за 15.07.1997 с помощью программы НТФ «Комплексные системы» и с помощью ГИС ArcView 3.0 GIS.



**Рисунок 2.4.** Промысловая обстановка, ГИС ArcView 3.0 GIS



**Рисунок 2.5.** Промысловая обстановка, программа НТФ «Комплексные системы»

## 2.7. ПОДГОТОВКА И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА НА БОРТУ НИС

При проведении работ научно-технической экспедиции на НИС «Академик Борис Петров» задействован большой перечень оборудования, предназначенный для получения экспериментальных данных. Как правило, данные от установок, приборов и комплексов поставляется в специфических, присущих только данному устройству, форматах данных. Поэтому, для обеспечения возможности хранения и поиска данных, была проведена работа по преобразованию различного рода первичных экспериментальных данных в единый формат dbf.

Одновременно данные дополнялись, если это было необходимо, координатными составляющими (от системы спутникового позиционирования ГЛОНАСС/GPS) и метеорологическими данными от судового метеорологического комплекса.

Для построения информационных слоёв береговой линии и рельефа дна в исследуемом регионе были использованы данные GEBCO (<https://www.gebco.net>) по значениям батиметрии с уровнем дискретности 100 м, и положением береговой линии. В последующем в оперативном режиме подготавливались и представлялись в качестве слоёв ГИС ArcView 3.0 GIS следующие данные:

- местоположение НИС «Академик Борис Петров»;
- положение и номер гидрологических станций;
- границы экономических зон сопредельных государств;
- границы и местоположение разрезов при гидрологическом зондировании;
- границы и местоположение разрезов при гидроакустическом зондировании;
- траектории пролёта спутников и границы кадров изображений при съёмке полигонов;
- местоположение судов промыслового флота;
- местоположение НИС в момент проведения спутниковой съёмки.

Информация, полученная в рамках Эксперимента, могла быть представлена в виде, как таблиц данных, так и в виде распределений и разрезов физических величин, представленных в графическом виде. Графическое представление результатов обработки экспериментальных данных представлены в виде растровых цветных изображений в формате gif, или в векторном формате dxr с географической привязкой данных для последующего сравнения и наложения в виде слоёв покрытия в ГИС.

Данные разрезов по глубине для различных физических, гидрологических, биологических и других характеристик также представлены в виде цветных графических изображений в формате gif и в векторном формате dxr с привязкой к координатам и глубине для проведения анализа и выявления корреляционных зависимостей. Для примера на рисунке 2.6 представлены основные элементы покрытия с береговой линией, курсом судна, границами экономических зон, положениями и номерами гидрологических станций и т. д.

На рисунке 2.7 представлена карта с местоположением разрезов проведённых с помощью гидрологического зонда AquaShuttle. На врезке графическое представление результатов обработки экспериментальных данных, а именно значений температуры и солёности.

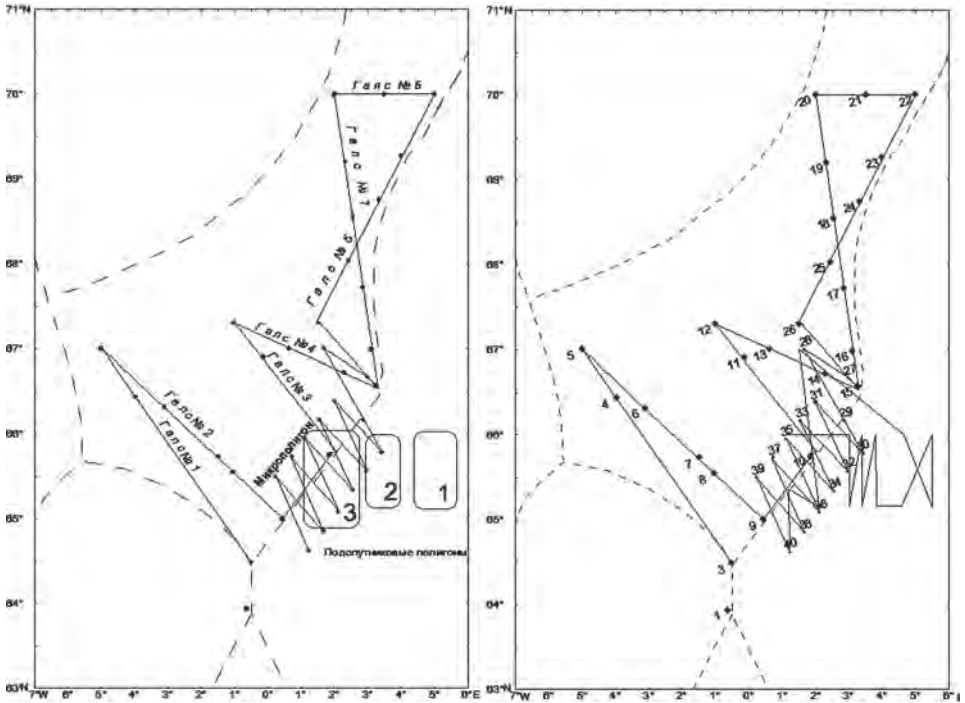
На рисунке 2.8 представлен пример использования различных элементов технологии получения, обработки и представления данных. Здесь показан в ГИС ArcView 3.0 GIS радиолокационный снимок со спутника ERS-2 за 19.07.1997 с наложенной на него сопутствующей информацией. Данный снимок был получен по каналам интернета во ВНИРО, обработан, интерпретирован и передан на НИС по каналам спутниковой связи «Гонец-Д1», принят и подготовлен с помощью пакета программ ERDAS IMAGINE для представления в ГИС ArcView 3.0 GIS (Романов, Матвеев, 1998).

На рисунке 2.9 представлен пример оперативной обработки и представления для анализа результатов авиационной съёмки от 22.07–23.07.1997

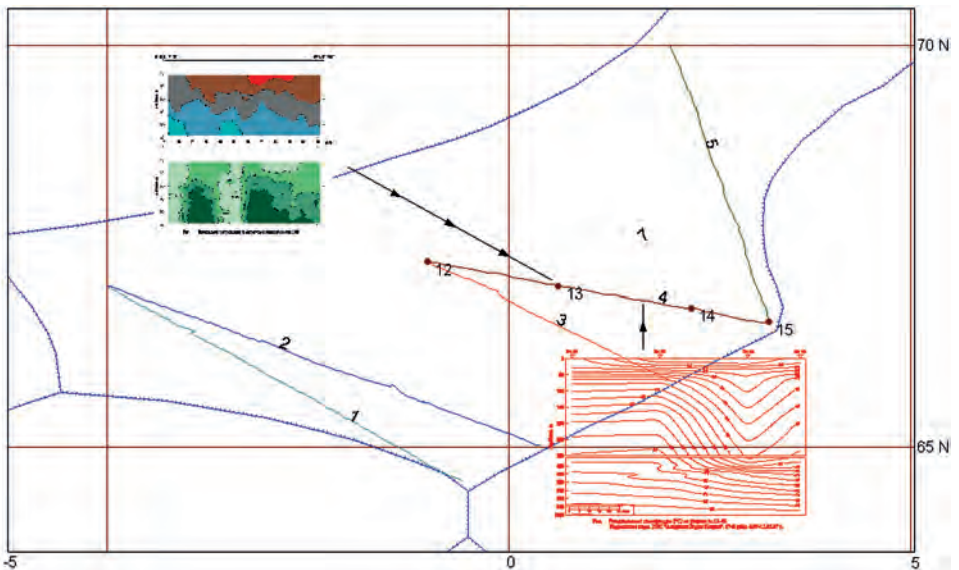
Информация по результатам съёмки на НИС поступила из НТФ «Комплексные системы» по каналам спутниковой системы связи «Гонец-Д1» вечером 23.07.1997. Результаты съёмки были

векторизованы с помощью пакета программ EASY TRASE, переведены в формат dxf, географически привязаны и представлены в ГИС ArcView 3.0 GIS. Здесь же представлено местоположение судов промыслового флота с указанием их названий.

Представленная информация была подготовлена к промышленному совету в 9 часов утра 24.07.1997.



**Рисунок 2.6.** Схема работ на НИС «Академик Борис Петров» в июле 1997 г. Точками с номера показано положение глубоководных станций, прямоугольниками с цифрами — подспутниковые полигоны, пунктирной линией — границы экономических зон



**Рисунок 2.7.** Проект ГИС ArcView 3.0 GIS местоположений разрезов зонда AquaShuttle и вертикальные разрезы температуры и солёности (верхняя и нижняя врезки)

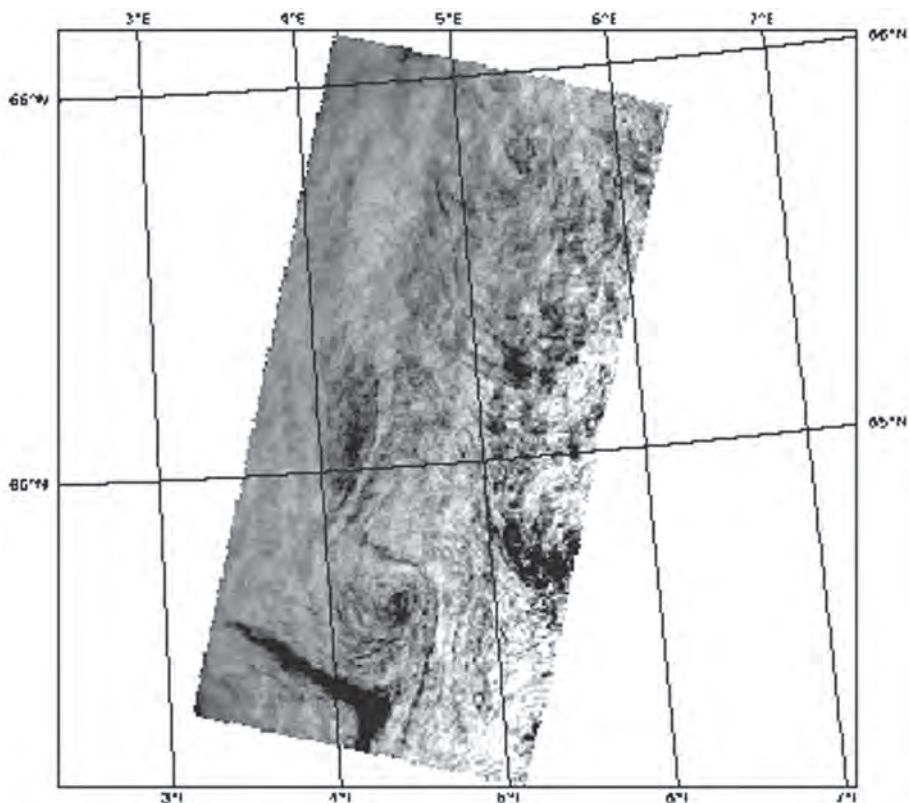


Рисунок 2.8. Изображение подстилающей поверхности с КА ERS-2 от 19.07.1997

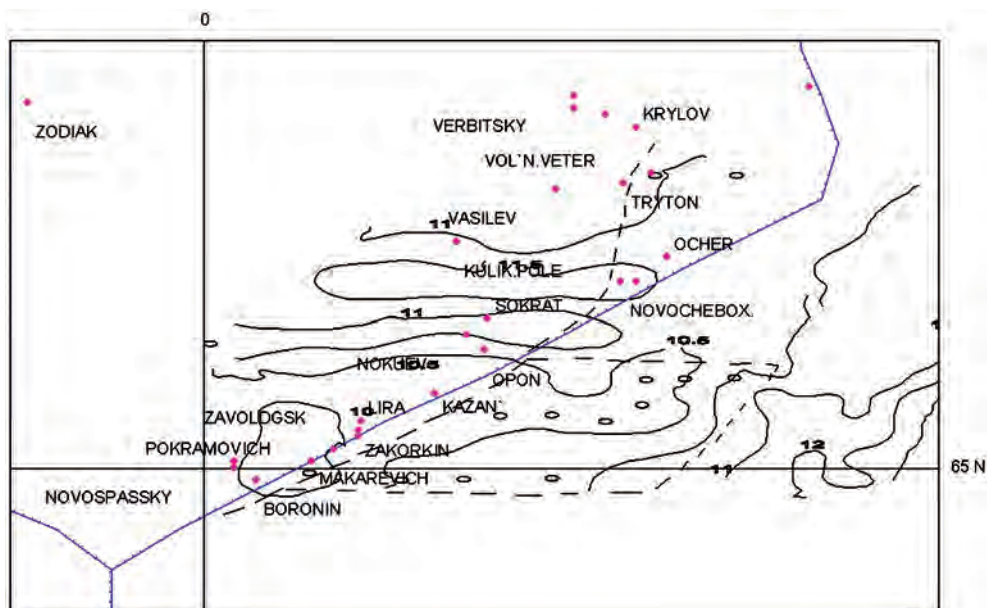


Рисунок 2.9. Комплексный анализ промысловой обстановки на 23.07–23.07.1997 совместно с данными авиационной съёмки в ГИС ArcView 3.0 GIS

## 2.8. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

### 2.8.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП РАБОТ (МАЙ – ИЮНЬ 1997 г.)

#### 2.8.1.1. Основные задачи подготовительного этапа

На подготовительном этапе ставились две основные задачи:

- выявление характерных для данного сезона особенностей гидрологической обстановки в районе эксперимента с целью последующего использования этой информации при планировании контактных измерений;
- отработка методики сбора, предварительной интерпретации и архивирования космических данных, в том числе взаимодействия с партнёрами.

Актуальность первой задачи вытекает из того, что при достаточно хорошо изученной системе течений Норвежского моря в целом, конкретное положение различных устойчивых гидрологических особенностей (фронтов, меандров, рингов, стрежней течений) варьируется от года к году. Те особенности, которые могут быть выявлены в мае – июне по данным ИК- и РСА-съёмки сохраняют в целом своё местоположение и в июле, так как характерное время жизни подобных структур измеряется месяцами.

Кроме этого предполагалось приступить к решению одной из основных задач всего эксперимента — установлению закономерностей в отображении РСА- и ИК-средствами температурно-динамических особенностей морской поверхности в поле крупномасштабных течений и гидрологических фронтов. Совместная съёмка поверхности РСА и ИК-радиометром позволяла это сделать.

#### *Общая характеристика данных*

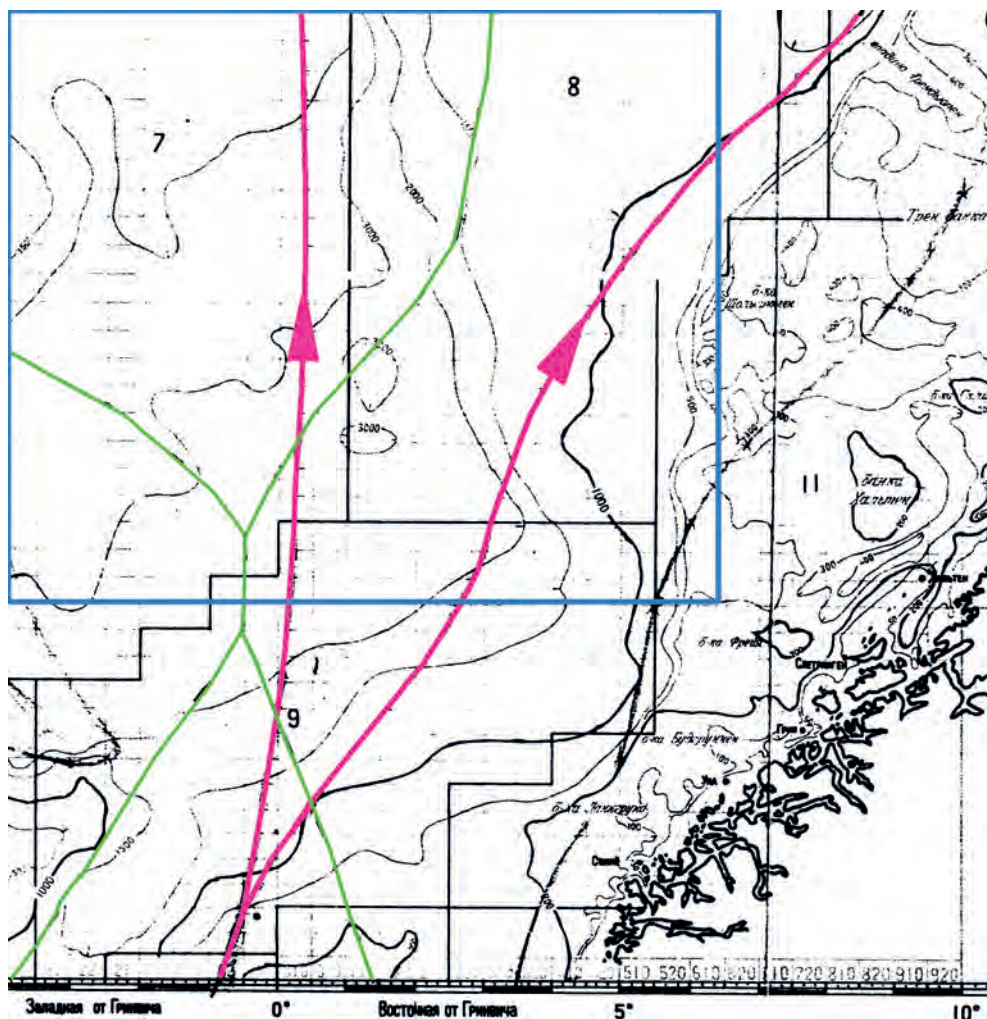
На июнь были заказаны четыре изображения ERS-2 размером 100×100 км (рисунок 2.10). Заказанные изображения располагаются к северу от области «декольте» и вытянуты в широтном направлении. Такое расположение заказанных изображений выбрано для из того, чтобы отснять возможно более широкий диапазон долгот и тем самым постараться точнее определить местоположение фронтальных зон течений.

Изображения КА ERS-2 предоставлялись норвежской стороной в виде файлов в формате tiff в двух вариантах: 1) с размером пиксела 100 м и 2) с размером пиксела 200 м и географической координатной сеткой. Для целей оперативной интерпретации в среде ERDAS IMAGINE производилась географическая привязка изображений первого типа и их минимальная обработка, включавшая устранение поперечного тренда, связанного с вариациями угла падения, повышение контраста и сглаживание скользящим окном. Две последних операции позволяли подчеркнуть слабоконтрастные мезомасштабные образования (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Регулярное архивирование данных NOAA было начато с 13 мая. Всего в мае – июне было собрано 85 пятиканальных изображений NOAA (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998; Romanov et al., 2001).

Изображения NOAA географически привязывались и обрабатывались с помощью программного обеспечения ERDAS IMAGINE в пределах области, ограниченной на схеме (см. рисунок 2.10) синим четырёхугольником.

Кроме того, к совместному анализу для выявления активных зон акватории Норвежского моря привлекалась информация о состоянии морской поверхности, полученная с альтиметрического КА TOPEX/Poseidon.



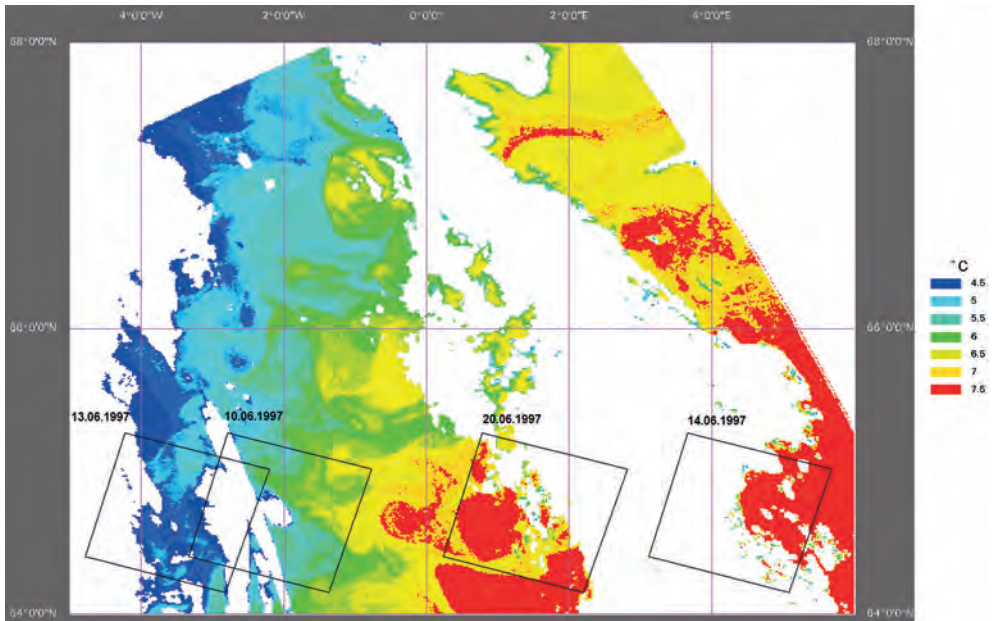
**Рисунок 2.10.** Исследуемая часть Норвежского моря. Синей линией обозначены границы фрагментов снимков NOAA, вырезаемых для последующего анализа и архивации; красные линии — среднее многолетнее положение стрейжней Северо-Атлантического течения после разветвления; зелёная линия — границы экономических зон

### Основные результаты подготовительного этапа

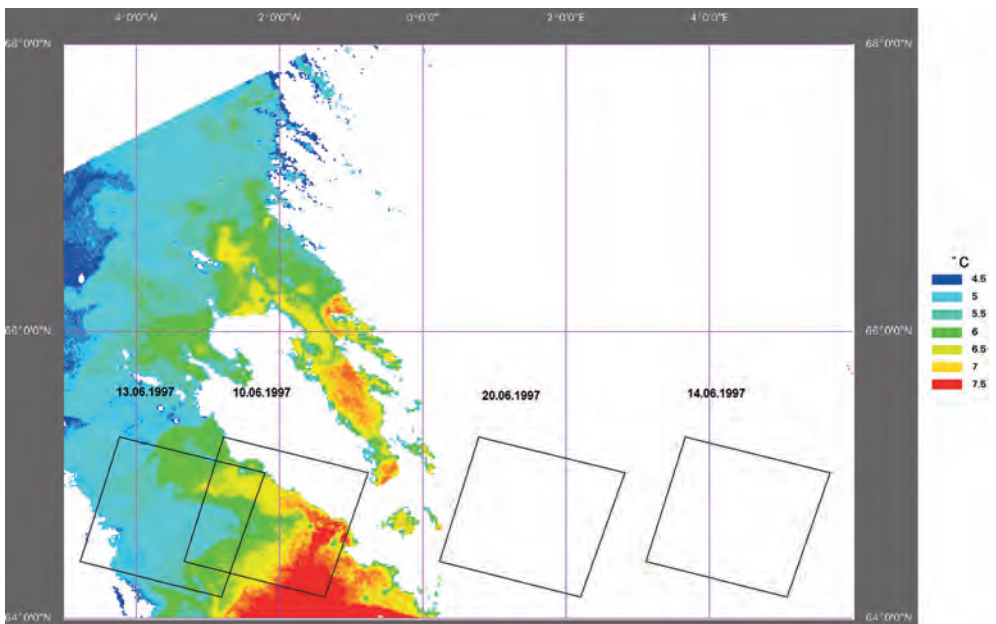
В целом погодные условия в мае – июне были таковы, что некоторая часть морской поверхности была свободна от облаков, и на большинстве ИК-изображений наблюдаются контрасты поверхностной температуры.

Наиболее интересные в этом смысле изображения показаны на рисунках 2.11 и 2.12, представляющие собой распределения радиационной температуры в 4-м канале. На изображениях в открытой от облаков части наблюдаются чёткая граница тёплых вод, приносимых Гольфстримом (жёлто-красный цвет), и холодных вод Восточно-Исландского течения (сине-зелёный цвет). Эта граница в разной степени размыва вихревыми структурами, приуроченными к западной фронтальной зоне Северо-Атлантического течения. Разница температуры воды по разные стороны от этой границы составляет от 2,8 до 3,4 К. Наибольший по протяжённости участок этой фронтальной зоны наблюдается на изображении за 10 июня (см. рисунок 2.11), которому (с интервалом в 5 ч) соответствует изображение PCA (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).





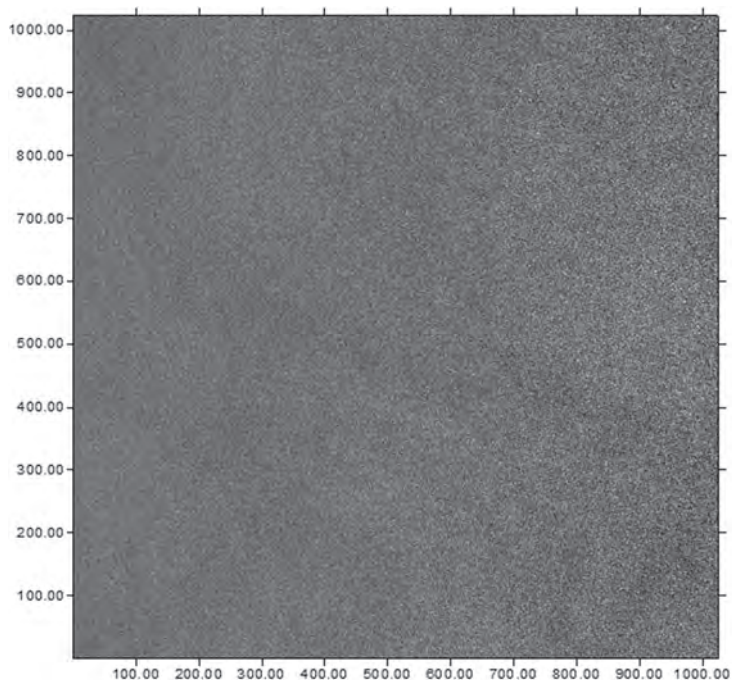
**Рисунок 2.11.** Радиационная температура поверхности воды 10.06.1997 с наложением фреймов ERS-2



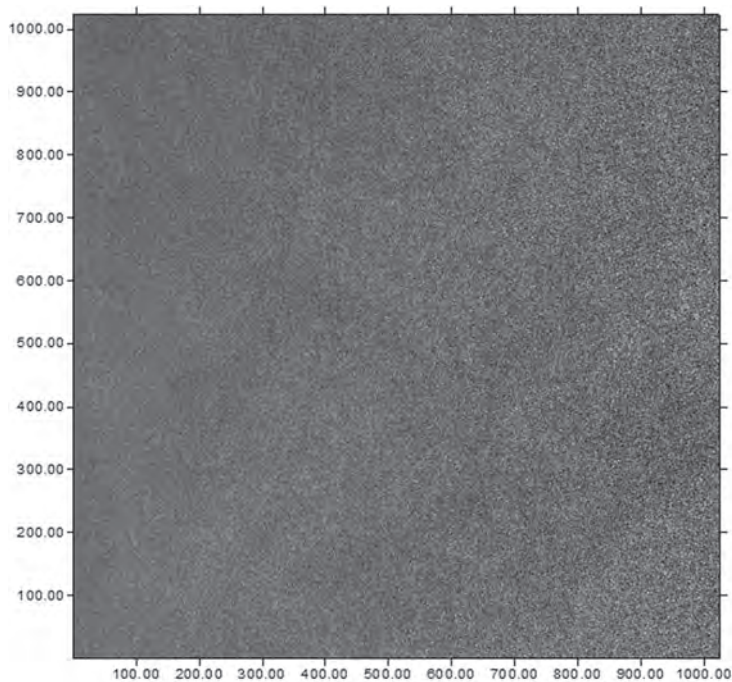
**Рисунок 2.12.** Радиационная температура поверхности воды 15.06.1997 с наложением фреймов ERS-2

В области самой фронтальной зоны наблюдается сильная перемежаемость тёплых атлантических и холодных арктических вод, приносимых Восточно-Исландским течением. Хорошо наблюдается взаимное проникновение различных водных масс. На изображениях идентифицируются три тёплых вихря. Учитывая устойчивость подобных образований, можно утверждать, что на всех трёх изображениях мы наблюдаем одни те же вихревые структуры в процессе их развития (прогрев и пространственное перемещение) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998; Romanov et al., 2001).

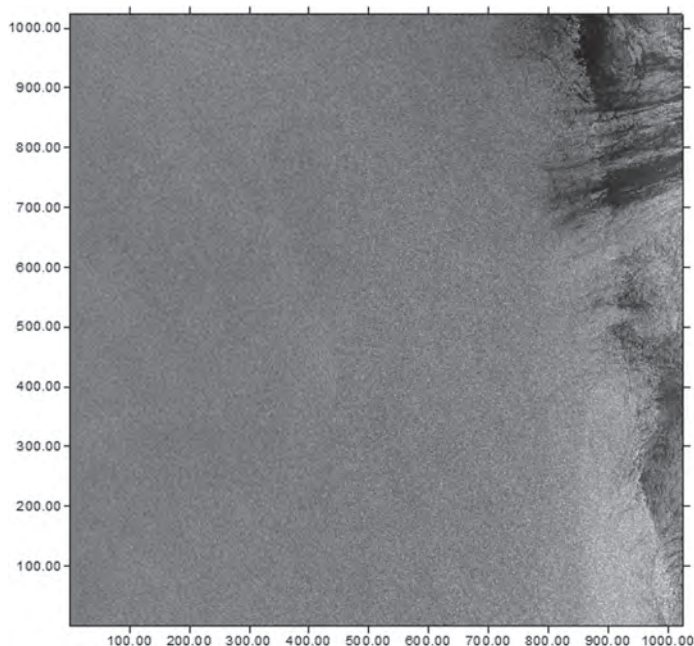
На рисунках 2.13–2.16 представлены изображения ERS-2 в том виде, в котором они представлялись норвежской стороной. Погодные условия в целом были не очень благоприятны для радиолокационной съёмки в смысле отображения температурно-динамических особенностей поверхности. Поэтому, ярко выраженных структур такого типа не наблюдается. Наиболее заметны проявления атмосферных процессов.



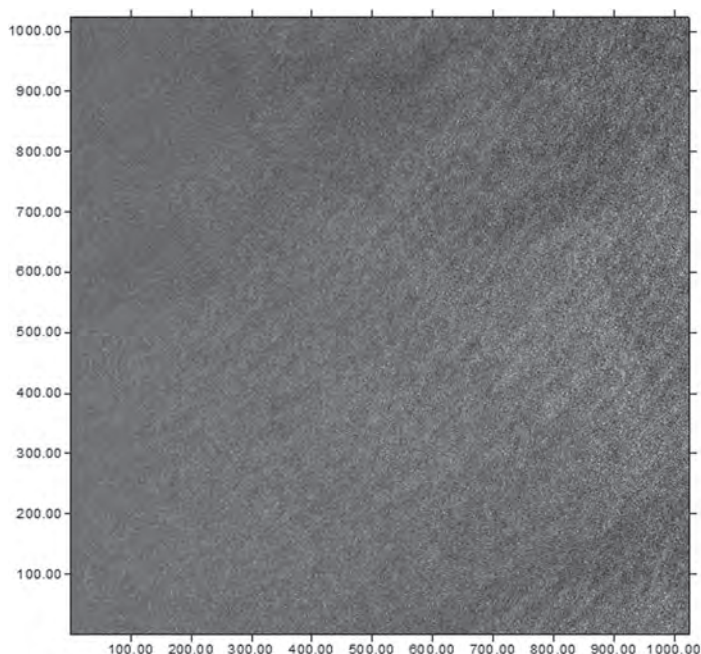
**Рисунок 2.13.** Исходное изображение с КА ERS-2 за 10.06.1997



**Рисунок 2.14.** Исходное изображение с КА ERS-2 за 13.06.1997



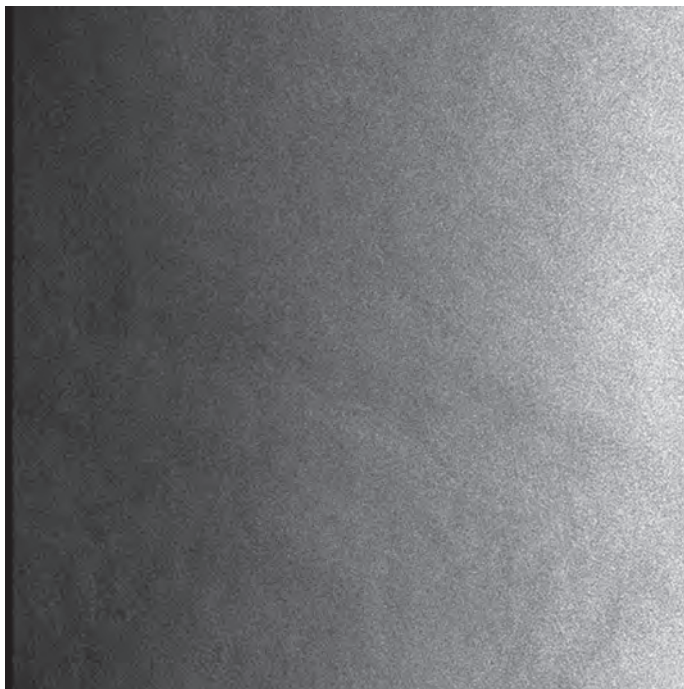
**Рисунок 2.15.** Исходное изображение с КА ERS-2 за 14.06.1997



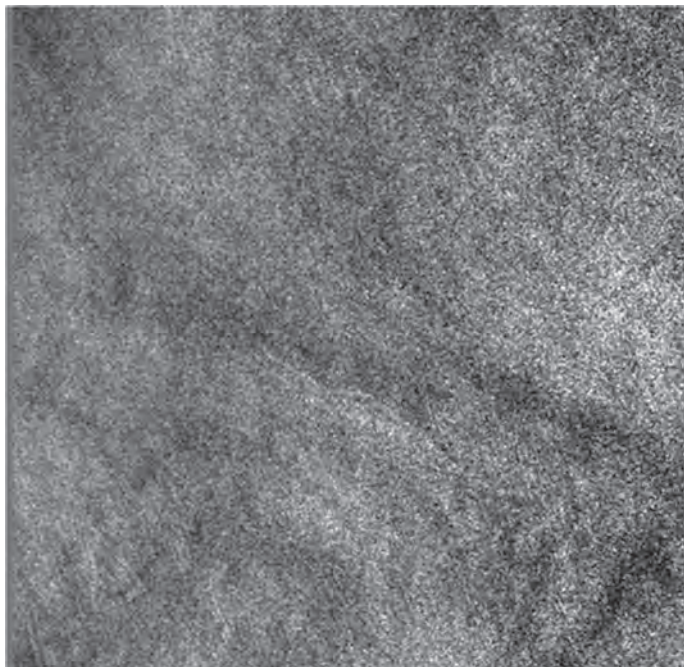
**Рисунок 2.16.** Исходное изображение с КА ERS-2 за 20.06.1997

Так, 20.06.1997 скорость ветра составляла 6...7 м/с, и на изображении наблюдаются лишь периодические (с периодом около 3 км) полосовые структуры, отображающие неустойчивость приводного слоя атмосферы (см. рисунок 2.16) и ориентированные вдоль ветра. На изображении за 14.06.1997 (см. рисунок 2.15) наблюдается резкий ветровой фронт со штилевыми условиями к востоку и штормовыми — к западу. На необработанных изображениях за 10.06.1997 (см. рисунок 2.13) и 13.06.1997 (см. рисунок 2.14) существенных вариаций радиолокационного сигнала идентифицировать не удаётся.

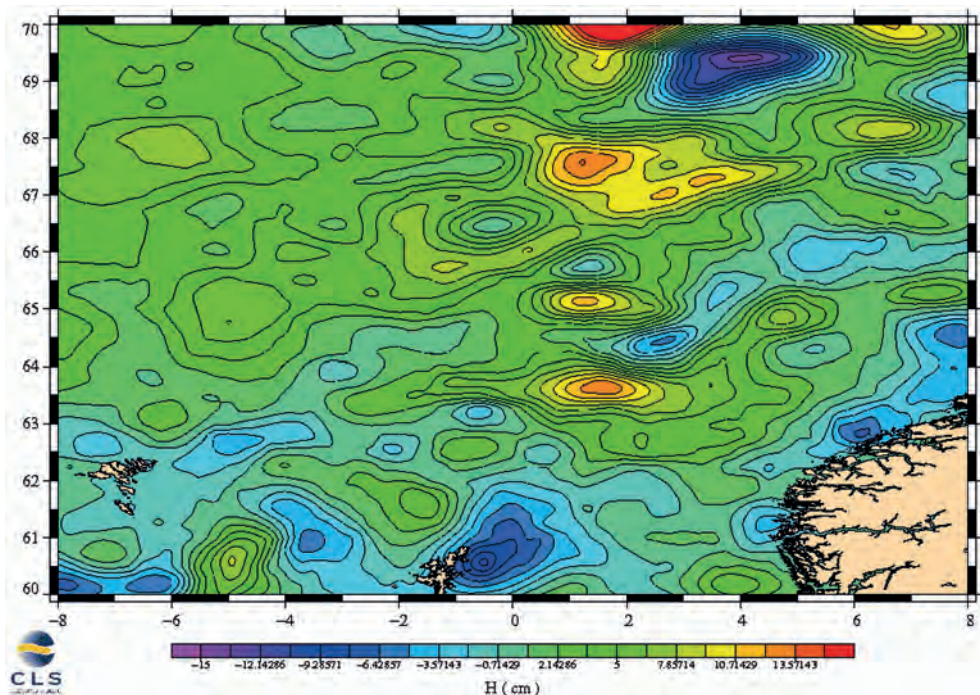
Вместе с тем сравнительно простая дополнительная обработка позволяет существенно усилить контраст интересующих вариаций яркости изображений. Эта обработка заключается в устранении поперечного тренда, связанного с вариациями угла падения, повышение контраста и сглаживание скользящим окном. Для сравнения на рисунках 2.17 и 2.18 показаны фрагменты изображения за 13.06.1997 до и после обработки.



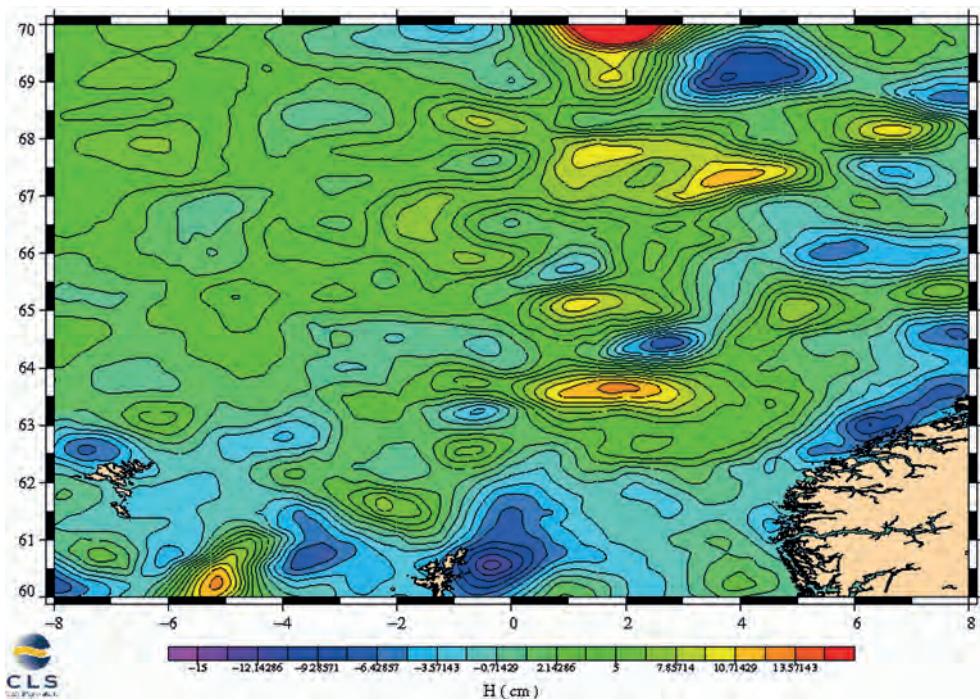
**Рисунок 2.17.** Фрагмент необработанного изображения ERS-2 за 13.06.1997



**Рисунок 2.18.** Фрагмент обработанного изображения ERS-2 за 13.06.1997



**Рисунок 2.19.** Карта аномалий морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon и ERS-2 за 09.06.1997, построенная по данным компании CLS



**Рисунок 2.20.** Карта аномалий морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon и ERS-2 за 13.06.1997, построенная по данным компании CLS

На рисунках 2.11 и 2.12 приводится совместная интерпретация радиолокационных и тепловых изображений. Здесь фрагменты ИК-изображений, пространственно совпадающие с РЛИ, показаны в одном масштабе с фреймами последних.

На рисунке 2.11 представлена информация за 10.06.1997. Изображения получены с разницей в 5 ч. На снимке NOAA хорошо заметен «язык» холодной воды между вихрями, в верхней части фрейма изображения ERS-2.

По изображениям NOAA (см. рисунки 2.11 и 2.12) хорошо просматривается тенденция прогрева воды от 10 к 15 июня. Тёмная граница между областями на радиолокационном изображении (см. рисунок 2.18), видна также и на обоих изображениях NOAA (правда, в несколько видоизменённой форме). Однако другие области пониженного радиолокационного сигнала на изображениях NOAA не просматриваются.

Существенный вклад в выборе региона проведения дальнейшего эксперимента в условиях недостаточности данных, полученных от всепогодной радиолокационной съёмки, внесли карты аномалий морской поверхности (рисунки 2.19 и 2.20). Альтиметрические данные были получены из баз данных французской компании CLS, причём для восстановления карт использовалась информация, как КА TOPEX/Poseidon, так и данные альтиметра КА ERS-2.

На указанных изображениях (см. рисунки 2.19 и 2.20) чётко выделяются антициклонические и циклонические образования мезомасштабного характера. Причём, на карте от 09.06.1997 чётко прослеживается декольте Северо-Атлантического течения, тогда как к 13.06.1997 граница раздела потоков несколько размывается, что может служить дополнительным подтверждением происходящего прогрева водных масс в регионе.

### 2.8.1.2. Выводы по предварительной части эксперимента

В целом первый этап эксперимента показал, что концепция организации сбора, обработки и архивирования данных дистанционного зондирования выбрана правильно. Собран значительный материал (85 ИК-изображений) по акватории экспедиционных работ. Проведено 4 сеанса съёмки с PCA КА ERS-2. Погодные условия были относительно благоприятны для ИК-съёмки (значительные просветы в облачности) и относительно неблагоприятны для радиолокационной съёмки (сильный ветер)

Несмотря на относительно небольшой процент информативности ИК-изображений (из-за облачности), удалось в общих чертах определить местоположение основного фронтально-раздела западной ветви Северо-Атлантического течения, в том числе, благодаря информации спутниковой альтиметрии. Он характеризуется значительной перемежаемостью двух водных масс и температурным контрастом между ними. Его местоположение, определённое по данным ИК-съёмки, было учтено при планировании экспедиционных работ.

Снимки PCA ERS-2 поступали с достаточной оперативностью. На двух из них зафиксированы только неоднородности атмосферного происхождения. На двух других — фрагменты вихревых структур в западной фронтальной зоне Северо-Атлантического течения. Сравнение квазисинхронных (полученных с интервалом 5 ч и 3 сут) изображений ИК-радиометра и PCA показало наличие корреляции между сигнатурами термического и динамического происхождения; установлено, что зонам наибольших градиентов температуры соответствуют области пониженного радиолокационного контраста (Romanov, 1998; Litovchenko et al., 1999).

## 2.8.2. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА (ИЮЛЬ 1997 г.)

### 2.8.2.1. Характеристика экспериментальных данных AVHRR NOAA и методов их обработки

Регулярное архивирование данных NOAA было продолжено в июле 1997 г., в течение которого было собрано 90 пятиканальных изображений NOAA.

Съёмка с ИСЗ NOAA производилась регулярно на всех витках, проходящих через полигон. Приём осуществлялся на приёмной станции ИКИ РАН. Затем изображения переводились в географическую проекцию с помощью специального программного обеспечения GREF разработки Лаборатории информационной поддержки космического мониторинга ИКИ РАН и калибровались в радиационных температурах (Лупян и др., 2004).

В потоке данных, которые передаются со спутников, содержатся калибровочные коэффициенты, позволяющие построить аппроксимацию функции калибровки. Коэффициенты для инфракрасных диапазонов постоянно корректируются. В служебной информации находятся коэффициенты (по два на каждый канал), которые используются для вычисления значений температур и альбедо.

Изображения NOAA географически привязывались и обрабатывались с помощью программного обеспечения ERDAS IMAGINE. Обработка состояла в идентификации тех участков изображения, на которых наблюдается поверхность океана, не покрытая облачностью. С этой целью по всем пяти каналам по специальному алгоритму определялась зона, покрытая облачностью. Эта зона затем маскировалась на изображении радиационной температуры 4-го канала. В ряде случаев использовался более простой пороговый алгоритм, который проводил отсечку по некоторому значению, т.е. области с радиационной температурой в 4-м канале ниже некоторой величины (обычно 278 K) считались облачностью, а выше этой величины — водой. В результате на изображении 4-го канала оставались только температурные контрасты морской поверхности. Однако оба метода обработки не дают 100%-й достоверности, поэтому основным критерием идентификации морской поверхности было визуальное определение вихреобразных и других структур по их характерной форме и масштабам, отличным от облачности. На прилагаемых рисунках зоны облачности показаны белым цветом, а радиационная температура морской поверхности — в псевдоцветовой кодировке. Пересчёт радиационной температуры в физическую не проводился (Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

В июле в период проведения экспериментальных работ ситуация с облачностью была крайне неблагоприятной. В результате были отобраны 7 изображений, на которых наблюдаются участки свободной воды. Рамкой показано расположение ближайших по времени кадров съёмки ERS-2. На всех остальных изображениях открытая вода не наблюдается, или имеются небольшие участки, свободные от облаков, которые слишком малы для того, чтобы идентифицировать на них гидрологические особенности.

Сведения о данных ДЗ, полученных в ходе эксперимента, представляющих интерес для дальнейшей интерпретации даны в таблице 2.5.

**Таблица 2.5.** Данные ДЗЗ, полученные в рамках основной части эксперимента

Дата	Время съёмки, GMT		
	NOAA	ERS-2	«Океан»
6 июля	16:47*	–	–
8 июля	2:24 и 6:29	–	–
9 июля	–	11:13	–
16 июля	16:41	–	–
18 июля	–	–	8:03–8:10
19 июля	–	10:57	–
20 июля	16:54*	–	–
22 июля	–	11:05	–
24 июля	2:47	–	–
25 июля	16:44	11:11	–
26 июля	–	–	18:16–18:23

\* — Изображения не использовались в анализе данных Эксперимента.

### 2.8.2.2. Общая характеристика экспериментальных данных КА ERS-2 и методов их обработки

Изображения с КА ERS-2 предоставлялись норвежской стороной в виде файлов в формате tiff в трёх вариантах (Litovchenko et al., 1998a, b 1999):

- 1) с размером пиксела 100 м (основной формат данных);
- 2) с размером пиксела 200 м и географической координатной сеткой для предварительного визуального анализа;
- 3) изображения в формате U116 (с высоким разрешением).

Данные формата U116 имеют следующие основные характеристики:

- размер захвата на местности — 100×100 км;
- размер изображения — 5000×6300 пикселей (по дальности и азимуту соответственно);
- точность привязки по орбитальным данным — 0,9...1 км;
- размер пиксела — 20×16 м (по дальности и азимуту соответственно);
- количество некогерентных накоплений — 3;
- номинальное разрешение на местности — 33 м;
- разрядность пиксела — 16 бит (2 байта);
- проекция — плоские декартовы координаты: наземная дальность (с учётом кривизны Земли по модели GEM6), азимут.

Всего за июль было заказано и получено 8 изображений с ERS-2 с характеристиками, представленными в таблице 2.6 (Litovchenko et al., 1998a, b; 1999).

**Таблица 2.6.** Характеристики заказанных изображений с космического аппарата ERS-2

Дата/время, UTC	Виток	Фрейм	Координаты 4-х углов, с.ш., в.д.	Полученный продукт
9.07.1997 11:13	11600	2294	65°19,1', 0°4,7' 65°4,3', 02°6,3' 64°27,4', 0°28,6' 64°12,8', 01°29,2'	1,2
		2258	67°2,8', 01°15,3' 66°47,2', 03°24,5' 66°11,2', 0°38,0' 65°56,0', 02°43,1'	1,2
19.07.1997 10:57	11743	2276	66°11,2', 0°40,1' 65°55,9', 02°45,8' 65°19,4', 0°4,9' 65°4,6', 02°6,5'	1,2
		2276	66°11,5', 04°15,9' 65°56,3', 06°21,6' 65°19,9', 03°40,6' 65°5,0', 05°42,4'	1,2
22.07.1997 11:05	11786	2294	65°19,8', 03°40,6' 65°4,9', 05°42,3' 64°28,0', 03°7,3' 64°13,5', 05°5,2'	1,2
		2277	66°11,1', 02°49,3' 65°55,9', 04°54,0' 65°19,4', 02°14,0' 65°4,6', 04°15,7'	1,2, U116
25.07.1997 11:11	11829	2294	65°18,9', 02°13,7' 65°4,2', 04°15,4' 64°27,2', 01°40,3' 64°12,8', 03°38,3'	U116
		2277	66°8,8', 01°21,4' 65°53,6', 03°26,8' 65°17,2', 0°46,2' 65°2,3', 02°47,7'	1,2



Значения яркостей изображений с размером пиксела 100×100 м и изображений в стандарте U116 переводились в шкалу нормализованного коэффициента обратного рассеяния  $\sigma^0$  по следующей формуле (Litovchenko et al., 1998a, b; 1999):

$$\sigma^0 = 20 \log(DN) - K,$$

где  $\log_{10}$  — логарифм по основанию 10;  $DN$  — значение яркости исходного изображения;  $K$  — калибровочная константа ( $K = 47,4$  для изображений с 100-метровым пикселом и  $K = 51,1$  для продукта U116).

Для интерпретации в среде ERDAS IMAGINE производилась географическая привязка изображений и их обработка, включавшая устранение поперечного тренда, связанного с вариациями угла падения, повышение контраста и сглаживание скользящим окном. Две последние операции позволяли подчеркнуть слабоконтрастные мезомасштабные образования (Litovchenko et al., 1998a, b; 1999).

Поперечный тренд устранялся по кривой, получаемой из реальных значений изображения путём осреднения значений яркости в каждом столбце дальности по всем строкам азимута (Litovchenko et al., 1998a, b; 1999).

Для привязки изображений использовались две основных проекции:

- географическая, выходной пиксел задаётся в угловой мере по широте и по долготе;
- проекция UTM.

Географическая проекция использовалась для анализа изображений КА ERS в среде ArcView 3.0 GIS, однако она не очень удобна, так как при постоянстве углового размера, пиксел имеет разный размер на местности, меняющийся по широте.

Проекция UTM использовалась для анализа изображений в ERDAS IMAGINE и построения разрезов. Размер пиксела в проекции UTM сохраняет постоянство в линейных единицах по всему кадру изображения.

### 2.8.2.3. Общая характеристика данных КА TOPEX/Poseidon и методика их обработки

Спутниковый альтиметр, это активный прибор, излучающий импульс в надир и измеряющий время между ушедшим и отражённым сигналом от водной поверхности. По измерениям времени восстанавливается значение высоты над уровнем океана (Шевченко, Романов, 2004). В настоящее время разрабатываются более сложные приборы для получения «альтиметрических изображений», т.е. двумерных массивов информации, наподобие традиционных данных ДЗЗ, в которых в каждом элементе двумерной сцены будет содержаться информация о высоте водной поверхности (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swot>).

Также как и изображения радиолокаторов, информация альтиметров не зависит от наличия облачности в подспутниковых областях и может быть получена в любое время дня или ночи. Однако есть определённые отличия от традиционных данных дистанционного зондирования поверхности.

Информация с альтиметра КА TOPEX/Poseidon представляет собой измерения высоты морской поверхности в точках вдоль траектории движения космического аппарата с дискретностью примерно 7 км (или 1 с). КА повторяет траекторию своего движения с периодом примерно 10 сут, соответственно максимальное покрытие любого региона альтиметрической информацией достигается за этот интервал времени (Шевченко, Романов, 2004; Benada, 1993).

Для восстановления распределения высоты морской поверхности необходимо осуществлять дополнительную обработку информации: проводить аппроксимацию данных или ассимилировать информацию в различные динамические модели океана. В рамках текущего исследования

использовалась методика восстановления мезомасштабной изменчивости поверхности океана, представленная в работе (Куницын, Романов, 2004).

Восстановление карт аномалий высоты морской поверхности осуществлялось по данным альтиметра космического аппарата TOPEX/Poseidon, предоставленным центром PO.DAAC (<https://podaac.jpl.nasa.gov>). Расчёт значений физической величины осуществлялся при помощи стандартной методики, представленной в работе (Benada, 1993), за исключением применения приливной поправки.

База данных MGDR-B содержит значения приливных поправок, рассчитанных по моделям CSR 3.0 и FES 95.2 (Benada, 1993; Eanes, Bettadpur, 1995; Le Provost, 1995). В соответствии с результатами (Романов и др., 2004; Шевченко, Романов, 2008) для дальневосточного региона Российской Федерации можно сделать вывод, что эти модели не всегда дают адекватные реальности значения приливной составляющей, особенно в прибрежных регионах мирового океана.

Поэтому при расчётах карт аномалий высоты поверхности океана в Норвежском море, использовалась методика, представленная в работах (Романов и др., 2004; Шевченко, Романов, 2004, 2008), где используется механизм непосредственного устранения величин приливных составляющих из альтиметрических измерений. Для применения указанного подхода была создана специализированная база данных измерений КА TOPEX/Poseidon.

#### 2.8.2.4. Результаты комплексной интерпретации данных

В настоящем разделе проводится собственно интерпретация дистанционных данных, полученных в ходе экспериментальных работ в период с 3 по 26 июля 1997 г. Данные контактных измерений привлекаются только как вспомогательные, помогающие соотносить наблюдаемые сигнатуры изображений с конкретными физическими параметрами моря. Поэтому из всего огромного массива информации, полученной с борта НИС, отобраны лишь те данные, которые соответствуют дням съёмки с PCA ERS-2  $\pm 1$  сут, т.е. с 08.07 по 10.07.1997 и с 18.07 по 25.07.1997.

Работа, проводившаяся в период между 10.07 и 18.07.1997 (в т.ч. микрополигон вдоль границы НЭЗ) осталась за рамками данного рассмотрения, так как дистанционные данные на этот период отсутствуют (за исключением снимка NOAA за 25.07.1997 и снимка «Океан» за 18.07.1997, которые сравниваются со снимком ERS-2 за 19.07.1997).

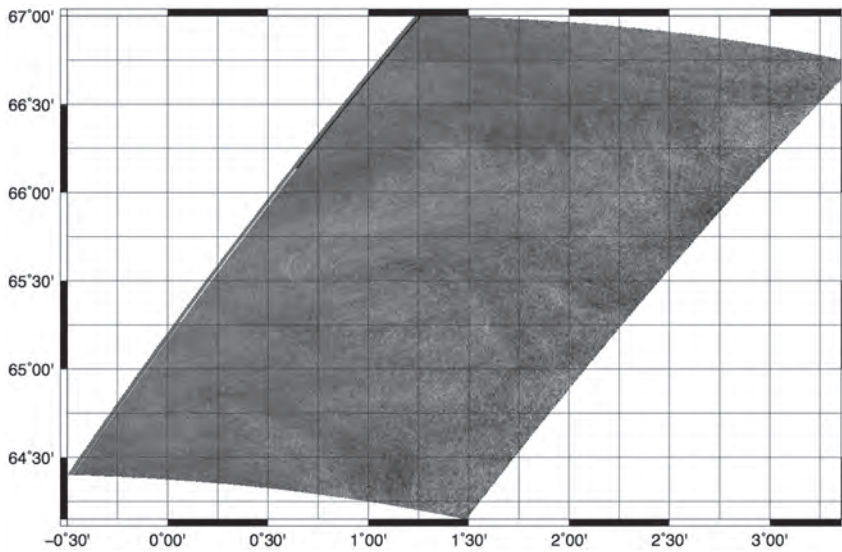
##### *Общие сведения*

Среди множества физических, химических и биологических характеристик, измерявшихся с судна, были отобраны три — температура, солёность и флуоресценция хлорофилла, так как они наиболее близки к тем поверхностным процессам, которые определяют радиолокационный и тепловой портрет океана при наблюдении из космоса. Указанные параметры измерялись на ходу с помощью буксируемого погружаемого зонда AquaShuttle в диапазоне глубин от 5 до 60 м, т.е. практически по всему деятельному слою. Кроме того, привлекались данные стандартных непрерывных измерений температуры поверхности воды и воздуха и скорости ветра (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

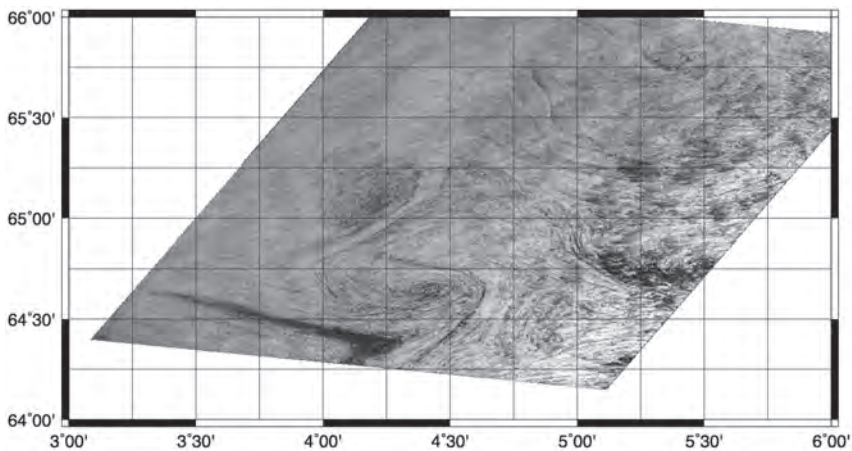
Основной подход к интерпретации данных дистанционного зондирования состоял в выявлении и описании структурных образований на изображениях, соотношении их с определёнными океанологическими процессами, фиксируемыми также контактными датчиками, а также в попытке объяснить, почему одни и те же явления хуже или лучше видны (или совсем не видны) по разным данным. В соответствии с этим на рисунках, приводимых ниже, нанесены интерпретационные обозначения, которые соответствуют одним и те же структурным элементам, наблюдаемым различными датчиками (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Иллюстративный материал структурирован следующим образом. На рисунках 2.21–2.24 даны четыре изображения PCA, представляющие собой основной материал «дистанционного» раздела основной части эксперимента. На рисунках 2.25 и 2.26 приводятся фрагменты наиболее информативных снимков КА NOAA с указанием элементов тех же структур, которые

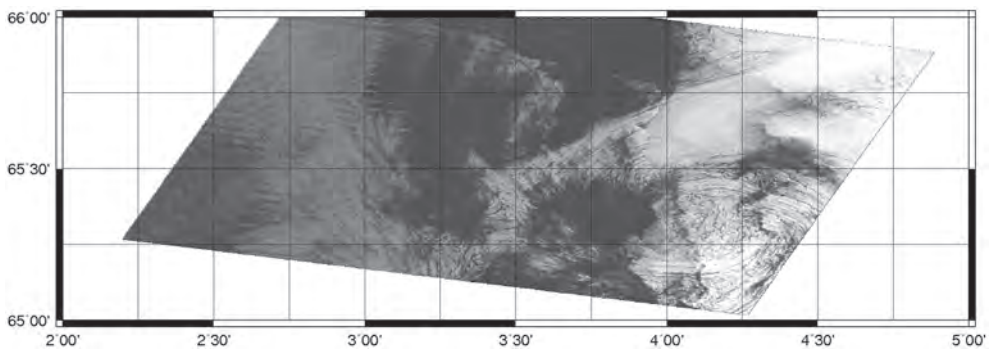
наблюдаются на РСА-изображениях и изображение КА «Океан» (рисунок 2.27), полученные в ходе эксперимента. Общая схема полученных данных дистанционного зондирования приведена на рисунке 2.28.



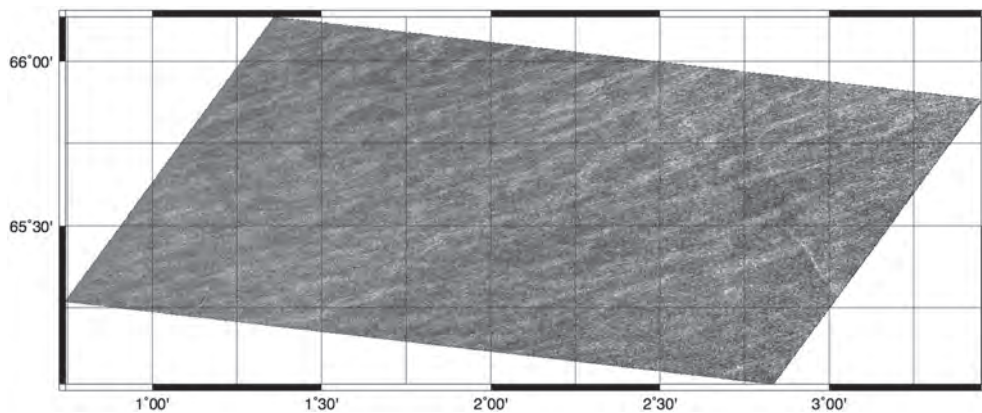
**Рисунок 2.21.** Изображение ERS-2 за 09.07.1997



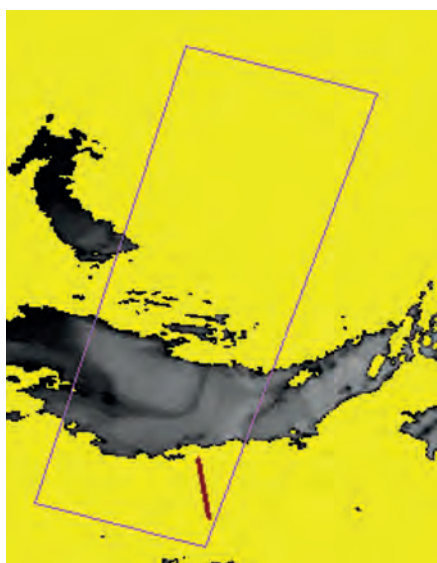
**Рисунок 2.22.** Изображение ERS-2 за 19.07.1997



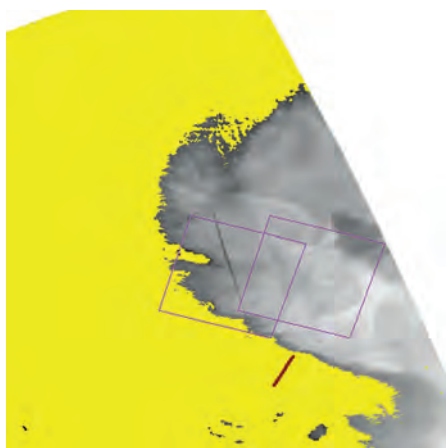
**Рисунок 2.23.** Изображение ERS-2 за 22.07.1997



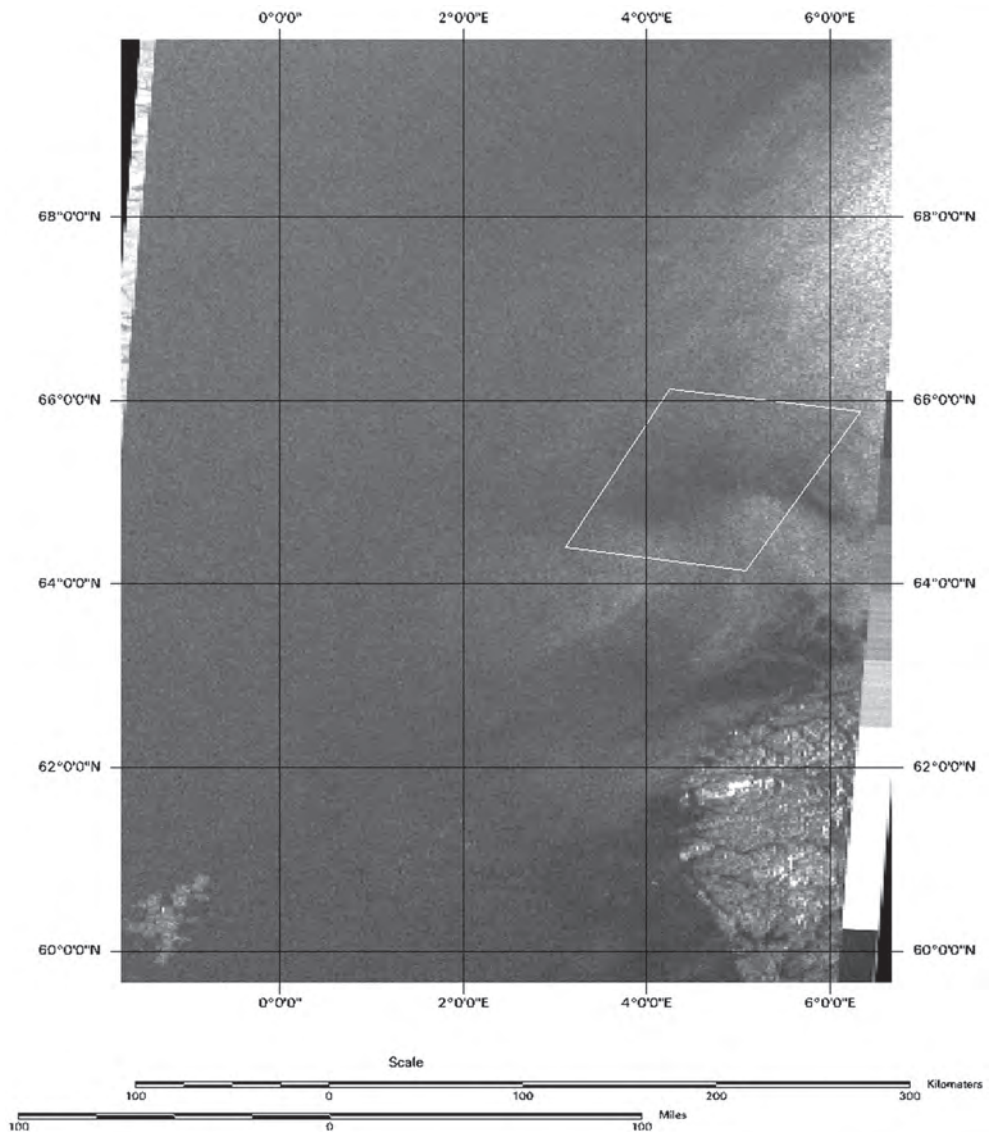
**Рисунок 2.24.** Изображение ERS-2 за 25.07.1997



**Рисунок 2.25.** Фрагмент изображения NOAA от 8.07.1997  
02:24 GMT с фреймом ERS-2 от 09.07.1997



**Рисунок 2.26.** Фрагмент изображения NOAA от 25.07.1997  
02:24 GMT с фреймами ERS-2 от 22.07.1997 и 25.07.1997

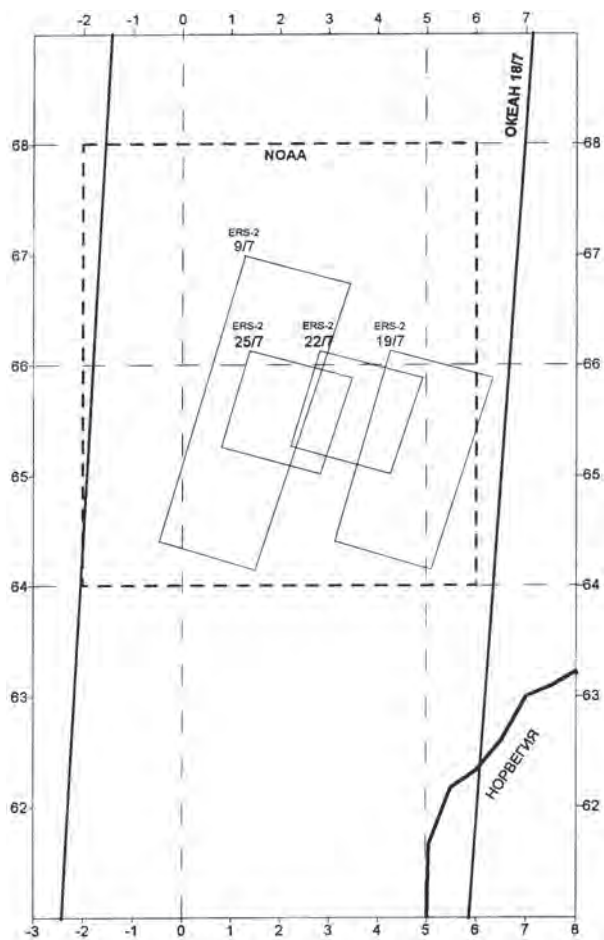


**Рисунок 2.27.** Изображение с РЛС БО «Океан» от 18.07.1997 с фреймом изображения с КА ERS-2 от 19.07.1997

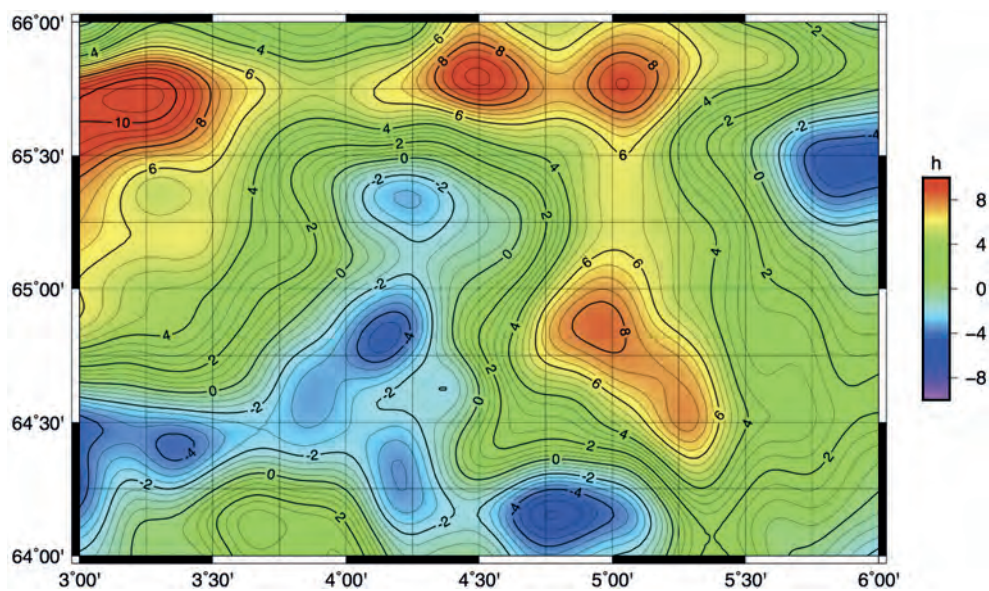
На рисунках 2.29–2.31 представлены карты аномалий высоты морской поверхности, полученные по данным КА TOPEX/Poseidon, которые также привлекались к проведению совместного анализа и изучения динамики исследуемой акватории.

В ходе рейса НИС с 21.07.1997 по 25.07.1997 под сеансы съёмки с КА ERS-2 22 и 25 июля удалось провести полигонную съёмку, по которой можно судить о горизонтальном распределении характеристик поверхностного слоя. Результаты проведённых исследований в виде распределения температуры воды в двух уровнях, солёности и флюоресценции представлены на рисунках 4.23, 4.24, 4.27 и 4.28.

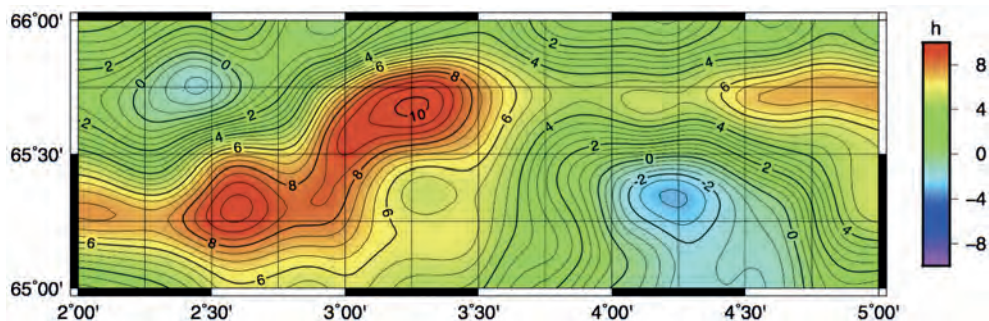
Последняя группа рисунков представляет собой вертикальные профили двух параметров, измеряемых зондом AquaShuttle, на десяти прямых галсах, выполненных с 8 по 23 июля 1997 (рисунки 4.16–4.21 и 4.25, 4.26). Полная траектория движения судна при подспутниковой съёмке показана на рисунке 4.1.



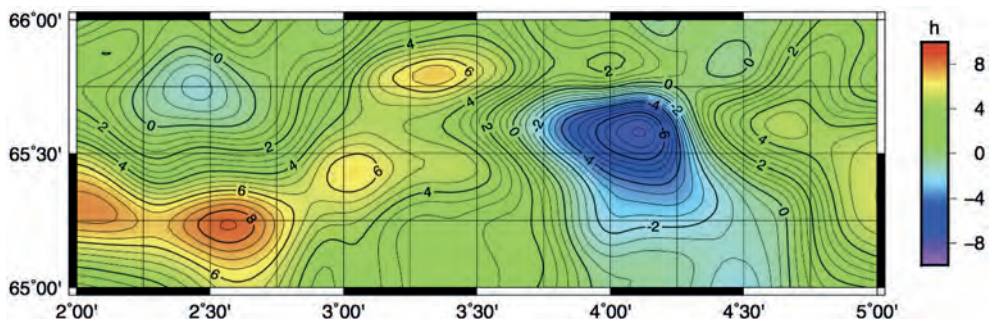
**Рисунок 2.28.** Схема данных дистанционного зондирования в основной части эксперимента



**Рисунок 2.29.** Карта аномалий морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon на 14.07.–24.07.1997



**Рисунок 2.30.** Карта аномалий морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon на 17.07–27.07.1997



**Рисунок 2.31.** Карта аномалий морской поверхности по данным КА TOPEX/Poseidon на 20.07–30.07.1997

Для анализа были отобраны лишь те галсы, у которых разница по времени со съёмкой с КА ERS-2 составляет не более суток. Главной задачей этой части обработки являлось сопоставление сечения рассеяния радиолокационного сигнала с параметрами, измеряемыми *in situ*. Поэтому мы исключили из рассмотрения галсы, выполненные под съёмку 25.07.1997, так как радиолокационная информация от 25 июля практически не содержит информации о собственно океанических процессах.

### Анализ метеоданных

Для понимания причин, по которым те или иные структуры отображаются на радиолокационных и инфракрасных изображениях с большим или меньшим контрастом, необходимо проанализировать в первую очередь метеоданные. К таким данным, существенным для интерпретации радиолокационных изображений, относятся скорость (и, в меньшей степени, направление) ветра и температура воздуха, точнее — разность температуры воздух–вода. Важность последнего параметра подчёркивалась многими авторами (Кравцов и др., 1996). Возникновение конвективной неустойчивости в условиях, когда вода теплее воздуха, приводит к тому, что именно этот процесс влияет главным образом на резонансные волны и поглощает вариации, связанные с внутриокеаническими явлениями. С другой стороны, ситуация, когда стратификация приводного слоя атмосферы балансирует на грани нейтральной (температуры воды и воздуха близки) может оказаться, наоборот, благоприятной для визуализации градиентных зон благодаря смене механизма генерации волн ряби в областях с различной температурой воды (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

При обработке информации Эксперимента в распоряжении имелись данные, полученные непосредственно на судне, а также карты погоды, полученные из МГИ НАНУ и ГМЦ РФ. Последние имеют крайне грубое разрешение и использовались лишь для приблизительной оценки направления ветра. Скорость ветра, температура воды и воздуха брались из судовых измерений. К сожалению, измеритель направления ветра на судне не работал, поэтому приходилось пользоваться синоптическими данными с метеокарт. Отсутствие точного направления ветра *in situ* приводило также к неточности измерения его скорости, так как на судне измерялась лишь относительная скорость судна и воздушного потока и для определения

абсолютной скорости необходимо знать относительное направление движения судна и ветра (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Скорость ветра в точке нахождения судна на время съёмки космическим аппаратом ERS-2 была: 19.07.1997 — ~2 м/с, 22.07.1997 — штиль, 25.07.1997 — 8...10 м/с. Добавим к этому, что 9.07.1997 скорость ветра составляла ~8 м/с. Отметим, что 19 и 25 июля судно не находилось в кадре радиолокационной съёмки. Согласно имевшимся на момент проведения Эксперимента представлениям, только ситуация 19 июля была более или менее благоприятной для проявления внутриокеанических процессов, 9 июля скорость ветра была критической, а 22 и 25 июля — не благоприятной (по разным причинам) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

Принципиальное значение для интерпретации радиолокационных изображений имеет именно скорость ветра, измеренная в момент съёмки, так как при определённых условиях ветровое поле может сильно меняться во времени и по пространственному масштабу порядка 100 км. Такая ситуация, например, имела место 22.07.1997, когда на изображении наблюдаются ветровые фронты (см. рисунок 2.23), а также 20 июня (см. рисунок 2.16). Поэтому не имеет смысла сравнивать радиолокационное сечение со скоростью ветра, измеренной в этом месте несколькими часами ранее или позднее съёмки, и мы здесь ограничиваемся только рассмотрением временного хода скорости ветра (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Следует отметить, что утверждение о благоприятных либо неблагоприятных условиях справедливо, строго говоря, лишь для некоторой области в районе точки измерений, но не для всего изображения в целом.

То же самое верно и для параметра устойчивости приводного слоя атмосферы. Ситуация во все три дня была близка к нейтральной, однако 19.07.1997 несколько менее благоприятной, чем 22.07.1997. В условиях слабого ветра и при наличии больших температурных контрастов нейтральная стратификация 22 июля может способствовать подчёркиванию границ перемежающихся областей тёплых и холодных вод. Что касается 25 июля, то здесь штормовые условия перекрыли влияние более тонкого параметра стабильности приводного слоя атмосферы (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Использование информации спутникового альтиметра TOPEX/Poseidon позволило несколько компенсировать неудачную ветровую обстановку в регионе исследований и провести дополнительный анализ информации о выявленных в регионе вихревых образованиях.

### *Интерпретация полученных данных*

Основным объектом исследования в дистанционной части эксперимента являются области горизонтальной и вертикальной конвергенции и дивергенции водных потоков, а также области наибольших градиентов температуры и скорости (т.е. границы течений и зон апвеллинга), так как именно эти области наиболее биологически продуктивны. В этом контексте температурные контрасты являются наиболее близкими к интересующим нас параметрам среды в смысле простоты интерпретации.

Карты ТПО, получаемые с NOAA дают наиболее достоверную картину о температуре поверхности на синоптических масштабах. В предварительном экспресс-анализе в качестве карты ТПО можно пользоваться распределением радиационной температуры 4-го канала. Как показала предварительная часть эксперимента (май-июнь 1997 года), границы течений и ринги хорошо наблюдаются на изображениях NOAA в 4-м канале при условии отсутствия облачности. К сожалению, в июле таких идеальных условий почти не было. На прилагаемых изображениях (рисунки 2.11 и 2.12) наблюдаются отдельные фрагменты тёплых рингов западной ветви Северо-Атлантического и Норвежского течений.

Наибольший интерес представляет сопоставление сигнатур, наблюдаемых на инфракрасных, радиолокационных изображениях и картах аномалий высоты морской поверхности, так как в условиях сплошной облачности только радиолокационные изображения и карты аномалий поверхности дают информацию о состоянии среды. На прилагаемых изображениях с КА ERS-2 наблюдается ряд вихревых структур, которые разрешаются благодаря вариациям



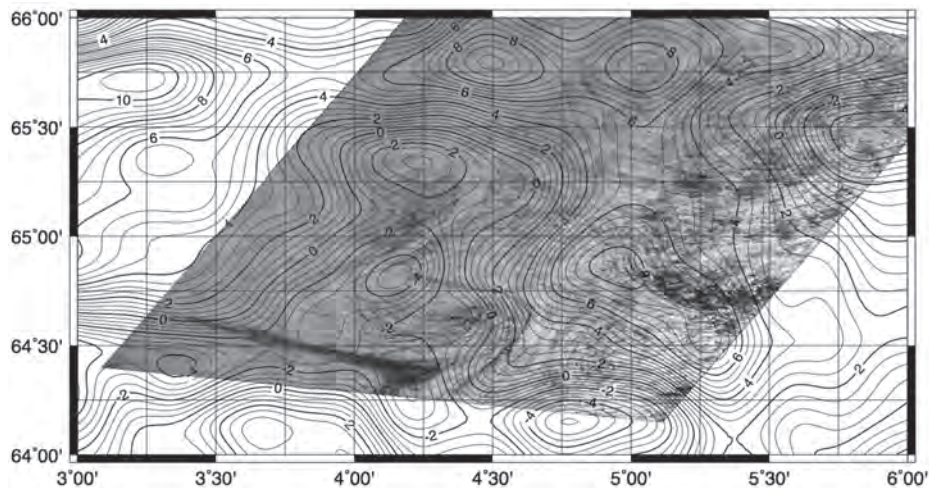
радиолокационного сигнала в местах градиентов течений, где имеют место нелинейные трансформации поля резонансных поверхностных волн, отвечающих за рассеяние (а именно, образуются зоны заострения гребней, обрушений, сликов и т.д.). Основные характеристики этих вихревых структур (рингов) приведены в таблице 2.7.

**Таблица 2.7.** Характеристики разрешаемых регистрируемых структур

Дата	Координаты центра, с. ш., в. д.	Видимый диаметр, км	На каком изображении ERS-2 наблюдается	Примечание
9.7	66°11', 1°25'		P1 (рис. 9.2)	
9.7	66°20', 2°8'		P2 (рис. 9.2)	Обнаружен с судна
9.7	65°34', 0°55'		P3 (рис. 9.2)	Обнаружен с судна
19.7	64°36', 4°24'	30...40	P4 (рис. 9.3)	Наблюдался также на КА «Океан» за 18.7
19.7	64°48', 5°30'	40...50	P3 (рис. 9.3)	Наблюдался также на NOAA за 20.7 и на «Океан» за 18.7
19.7	65°30', 5°30'	60...90	P2 (рис. 9.3)	
19.7	65°50', 5°25'		P1 (рис. 9.3)	
22.7	65°40', 3°	50...70	P2 (рис. 9.4)	Наблюдался также на NOAA за 25.7
22.7	65°35', 3°15'	30...40		Наблюдался также на NOAA за 25.7
22.7	65°17', 4°9'	35...40	P1 (рис. 9.4)	Наблюдался также на NOAA за 25.7

Общий характер радиолокационной информации в целом соответствует тому, что должно ожидаться исходя из метеоусловий, которые имели место. Так, 09.07.1997 (см. рисунок 2.21) в условиях средней (но ближе к критической) скорости ветра наблюдается целый ряд образований, контраст которых крайне невысок. В связи с этим при среднем уровне сигнала -7...-10 дБ на радиометрических разрезах необработанных изображений (практически невозможно идентифицировать границы течений или температурных фронтов. Вместе с тем их присутствие (конкретно — ринги P1 и P3) легко определяется по контактными данным, которые хорошо соответствуют визуальной интерпретации радиолокационных изображений. Обе вихревые структуры P1 и P3, полностью прописанные с судна (на галсах № 1 и 2, соответственно), являются областями вод с повышенной температурой и пониженной солёностью (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Ситуация 19.07.1997 (см. рисунок 2.22) уже значительно более благоприятна. Здесь, однако, имеет место сильный тренд дисперсии радиолокационного сигнала по дальности — в дальней зоне контрасты значительно ниже, чем в ближней. Средний уровень радиолокационного сигнала здесь составляет уже -10...-15 дБ (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

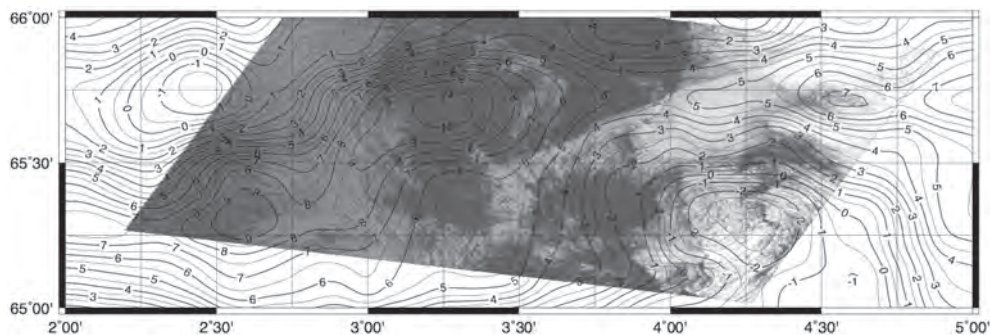


**Рисунок 2.32.** Сравнение изображения водной поверхности с КА ERS-2 (19.07.1997) и аномалий высоты морской поверхности по данным спутника TOPEX/Poseidon (изолинии)

На рисунке 2.32 представлено изображение КА ERS-2 с наложенными изолиниями карты аномалий морской поверхности, полученными по информации с КА TOPEX/Poseidon. Как обсуждалось ранее на изображениях радиолокатора и картах спутниковой альтиметрии отчётливо наблюдаются вихревые структуры, представляющие интерес, в том числе, с точки зрения промысловой океанологии. Естественно, крайне интересно сопоставить полученную информацию из различных источников, которая в идеальном случае должна неплохо совпадать — т.е. местоположение и размеры вихревых образований, должны быть примерно одинаковыми на всех изучаемых картах.

Анализ изображения показывает, что выявленные структуры действительно неплохо совпадают. Так, вихревые образования, видимые на снимке с КА ERS-2, представлены и на карте аномалий высоты поверхности океана (см. рисунок 2.29). На альтиметрической реконструкции наблюдается целый комплекс циклонических образований в южной и центральной части исследуемого региона. Однако, координаты центров вихрей несколько (около 15') отличаются от рингов, регистрируемых радиолокатором.

По всей видимости, группа циклонических рингов начинает формировать более крупное образование, а поскольку карта аномалий поверхности формируется из альтиметрических данных, набирающихся в исследуемом регионе в течение 10 сут, местоположение активно меняющихся образований на «мгновенной» съёмке радиолокатором и на реконструируемой карте аномалий морской поверхности могут немного различаться.



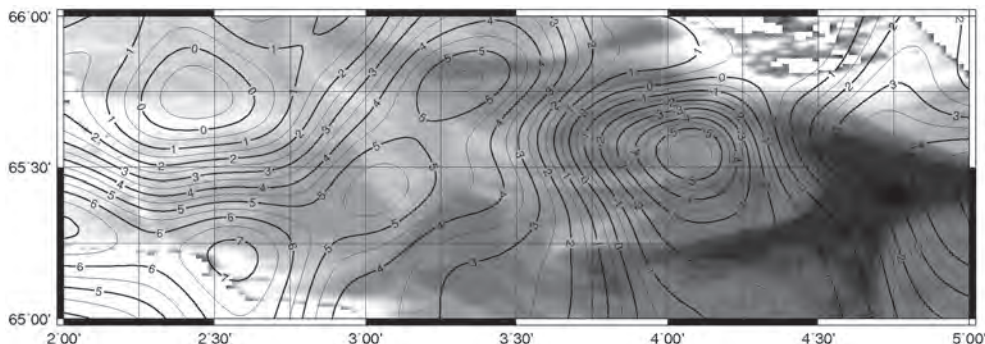
**Рисунок 2.33.** Сравнение изображения водной поверхности с КА ERS-2 (22.07.1997) и аномалий высоты морской поверхности по данным спутника TOPEX/Poseidon (изолинии)

Снимок 22.07.1997 (см. рисунок 2.23) характеризуется наибольшими контрастами, которые достигают 10 дБ при очень низком среднем уровне (около -20 дБ). Наблюдаемые здесь вихревые структуры наилучшим образом коррелируют с гидрологическими разрезами (рисунки 4.25 и 4.26). Особенно это касается разреза вдоль 3°22', на котором полностью прописан ринг P2 (рисунок 4.26). Вариации солёности здесь значительно выше, чем температурные. Антициклонический характер циркуляции обуславливает повышенную концентрацию первичной продукции во внутренней части вихря. На другом галсе вдоль 3°48' (рисунок 4.25) разрез захватывает только периферийную часть ринга P1, который легко обнаруживается как по температуре, так и по солёности. Здесь наблюдается повышенная концентрация хлорофилла, как это и должно иметь место для циклонического круговорота (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

В пользу высказанного предположения о формировании циклонического образования на карте аномалии поверхности, соответствующей 19.07.1997, свидетельствуют результаты, представленные на рисунках 2.33 и 2.34. На рисунке 2.33 представлено сравнение изображения ERS-2 на 22.07.1997 и соответствующего распределения аномалий морской поверхности (см. рисунок 2.30). По всей видимости, циклонический ринг в этот момент уже полностью сформировался и стабилизировался, поскольку, и на радиолокационном изображении, и на 10-дневной карте топографии поверхности совпадают не только координаты центров, но и формы объектов (вихрь P1).

Кроме того, на карте распределения ТПО с космического аппарата NOAA за 25.07.1997 (см. рисунок 2.26) циклонический ринг наблюдается практически на том же самом месте

(сместился на 15' на север), аналогичная картина наблюдается и на соответствующей 10-дневной карте аномалий высоты поверхности океана (рисунки 2.31 и 2.34). При этом изолинии аномалий высоты морской поверхности точно повторяют форму вихревого образования, регистрируемого на карте температуры.



**Рисунок 2.34.** Сравнение карты температуры поверхности океана по данным КА NOAA (25.07.1997) и аномалий высоты морской поверхности по данным спутника TOPEX/Poseidon (изолинии)

Следует отметить, что ринги P1 и P2 существенно по-разному выглядят на радиолокационном снимке (рисунок 2.23). Если внутри P1 хорошо просматривается структура течения по контрастным вариациям радиолокационного сигнала, то другой вихрь идентифицируется с трудом. Это вызвано, видимо, существенно различными ветровыми условиями. На снимке легко наблюдается ветровой фронт, расположенный примерно вдоль долготы 4°. К западу от фронта имеют место штилевые условия, при которых радиолокационный сигнал (а, следовательно, и его контрасты) практически полностью отсутствуют (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

В то же время, градиентная зона (искривлённая область повышенного сечения рассеяния между двумя вихрями) хорошо коррелирует с зоной повышенной (очень незначительно) температуры и пониженной солёности (рисунок 4.25). Это связано, по-видимому, с затокном струи прибрежных вод в область основного потока Норвежского течения. Эта вода существенно более пресная, чем приносимая течением, как это всегда имеет место в прибрежной зоне. По температуре она близка к водам течения (в данном случае немного теплее), так как, с одной стороны, она «местного» происхождения, а не принесена тёплым течением, а с другой — быстрее прогревается из-за близости к берегу (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Ринг P3 в южной части снимка, по-видимому, является тем же самым образованием, что и ринг P4 на радиолокационном изображении за 19.07.1997 (см. рисунок 2.22). В пользу такого утверждения говорит схожесть форм структуры течений (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Снимок 25.07.1997 (см. рисунок 2.24) практически не обнаруживает структур, связанных с течениями. Штормовые условия привели к тому, что на изображении наблюдаются лишь ветровые полосы, являющиеся следствием так называемой «валиковой» циркуляции. Исключение составляет лишь слабоконтрастный сдвиг течения, который прослеживается также и на изображении от 22 июля. В данном случае с некоторой степенью достоверности можно утверждать, что здесь преобладает кинематический механизм модуляции резонансных волн за счёт их взаимодействия со сдвигом течения, так как более тонкий механизм, связанный с вариациями температуры, должен быть «поглощён» ветровой накачкой (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Все три вихревых структуры, видимые на снимке 22.07.1997 на радиолокационном изображении, идентифицируются и на снимке NOAA за 25 июля (см. рисунок 2.26).

Полигонная съёмка, выполненная с 21 по 25 июля, позволяет подкрепить контактными измерениями вариации радиолокационных и инфракрасных изображений. На основе измерений зонда AquaShuttle и поверхностного датчика температуры были построены распределения температуры на поверхности (рисунки 4.23 и 4.27), температуры, солёности и флуоресценции

на горизонте 10 м (рисунки 4.24 и 4.28) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

На рисунках хорошо идентифицируются два вихря P1, P2 и градиентная зона между ними. Эти же вихри различимы и на радиолокационном изображении, где можно определить направление закрутки (P2 имеет антициклоническую, а P1 — циклоническую закрутку) (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

Фрагменты некоторых вихревых структур наблюдаются также на изображении с КА «Океан» от 18.07.1997 (рисунок 2.27). Снимок же от 26 июля не обнаруживает ничего кроме областей с различной скоростью ветра.

Следует отметить, что на более восточных радиолокационных снимках (19.07.1997 и 22.07.1997) вихревые структуры более контрастны по сравнению со снимком 9 июля (где затруднительно даже оценить пространственный масштаб), а на снимке за 25 июля они вообще не просматриваются. Помимо упомянутых причин, это может объясняться тем, что снимки 19 и 22 июля лежат ближе к стрежню основного течения. Следует, однако, учесть, что контрастная чувствительность радиолокатора с синтезированной апертурой сильно меняется с углом визирования (уменьшается с ростом наклонной дальности). Так, ринг P1, хорошо заметный на снимке за 22 июля, практически не просматривается на снимке за 19 июля, хотя отдельные фрагменты струй прослеживаются на обоих изображениях, свидетельствуя о том, что ситуация мало изменилась за трое суток (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

На рисунке 4.38 представлено пространственное распределение индекса плотности скопления скумбрии.

Анализ изображения показывает, что максимальные скопления скумбрии наблюдаются в южной и западной частях полигона. Максимум плотности на юге региона с максимумом индекса плотности свыше 30 точно соответствует местоположению циклонического ринга, регистрируемого по данным «дистанционной» и «контактной» съёмок, что вполне укладывается в современные представления о принципах промысла скумбрии. В северном полушарии питательные вещества имеют тенденцию концентрироваться на периферии циклонических круговоротов (где имеет место отток воды от центра к периферии благодаря действию силы Кориолиса) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

Скопления в центральной и западной областях региона с индексами плотности 20...30 также не выбиваются из привычной картины, поскольку соответствуют антициклоническим образованиям, наблюдаемым на рисунках 2.29–2.31. В северном полушарии питательные вещества концентрируются в центре антициклонических круговоротов (где по той же причине вода стремится от периферии к центру) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1997, 1998; Romanov, 1998).

### 2.8.2.5. Выводы по основной части эксперимента

Таким образом, в ходе проведения эксперимента были получены следующие основные результаты.

1. Проанализированы гидрологические и гидрометеорологические условия в Норвежском море в летний период. Описана структура течений, а также среднемесячный ход температуры поверхности в период прогрева на примере данных NOAA за 1996 и 1997 гг.
2. Выработана концепция проведения радиолокационных и тепловых (ИК) съёмок на предварительном и основном этапах эксперимента.
3. На предварительном этапе (май – июнь 1997) проведены четыре съёмки с PCA КА ERS-2. Обнаружены несколько фрагментов вихревых структур, контраст которых был усилен с помощью специальных методов обработки изображений. При благоприятных погодных условиях в июне получен ряд изображений NOAA, покрывающих значительные акватории свободные от облаков. На этих изображениях зафиксировано несколько вихревых структур с положительным температурным контрастом (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

**4.** Второй этап эксперимента (июль 1997) показал, что концепция организации сбора, обработки и архивирования данных дистанционного зондирования была выбрана правильно. За период экспедиционных работ (с 4 по 26 июля) собрано 83 ИК-изображения AVHRR, проведено четыре сеанса съёмки с КА ERS-2 и два сеанса съёмки с РЛС БО КА «Океан». Погодные условия в целом были крайне неблагоприятны для ИК-съёмки (почти сплошная облачность на протяжении всего Эксперимента) и относительно благоприятны для радиолокационной съёмки. Снимки PCA КА ERS-2 поступали с достаточной оперативностью. Всего было получено четыре изображения. На них зафиксированы многочисленные неоднородности на поверхности океана, в том числе, вихревые структуры в западной фронтальной зоне Северо-Атлантического течения. Использование информации ИК-зондирования показало в целом не очень высокую эффективность из-за неблагоприятной метеобстановки в районе Эксперимента. Только на семи изображениях удалось обнаружить структуры на поверхности моря. Тем не менее, сравнение квазисинхронных изображений ИК-радиометра и радиолокатора с синтезированной апертурой показало наличие корреляции между сигнатурами термического и динамического происхождения (Litovchenko et al., 1998a, b, 1999).

**5.** Проведён совместный анализ дистанционных и контактных данных: информации радиолокационных изображений, карт аномалий морской поверхности, профилей и распределений трёх параметров, измеренных при контактном зондировании зондом AquaShuttle до глубины 50...60 м (температура, солёность, флуоресценция хлорофилла) и STD-зондом. Совместный анализ показал, что при определённых условиях радиолокатор с синтезированной апертурой, наряду с альтиметрической информацией, даёт возможность всепогодного мониторинга течений и фронтальных зон благодаря корреляции между такими характеристиками? как температура и солёность воды с одной стороны, и аномалии высоты морской поверхности, а также сечение радиолокационного рассеяния с другой.

**6.** Установлено, что повышенная концентрация первичной продукции, оценённая в первом приближении по концентрации хлорофилла, имеет место на периферии циклонических и в центральной части антициклонических круговоротов (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1997, 1998; Romanov, 1998).

## 2.9. ВЫВОДЫ

В результате работы, в части космического мониторинга, а также информационной поддержки эксперимента «Норвежское море – 97», проделанной в течение научно-производственной экспедиции на НИС «Академик Борис Петров», были получены следующие результаты (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

- Получено более 220 снимков исследуемого района в видимом и инфракрасном диапазонах спектра с метеорологических спутников NOAA с различным разрешением. Снимки использовались, как для оценки физических и гидрологических характеристик водной поверхности, так и для контроля за метеорологической обстановкой при планировании полигонов.
- Получено два радиолокационных снимка от КА «Океан». Снимки использовались для выявления градиентных зон и поиска вихревых структур. К сожалению, из-за позднего получения снимков (24 и 26 июля 1997 г.) не было возможности применить данные изображения при планировании гидрологических съёмок.
- Проведена опытная эксплуатация автономного терминала низкоорбитальной спутниковой системы связи «Гонец-Д1». Отмечена оперативность передачи коротких сообщений. Длинные (многопакетные сообщения) передавались с задержкой, или не доходили до получателя. Следует отметить, что по мере накопления опыта и организованности при передаче сообщений эффективность системы связи к концу эксперимента значительно возросла. Так за 22–23.07.1997 было передано два файла с картами ТПО, файл с изображением подстилающей поверхности от КА ERS, файл с результатами авиасъёмок, файл с фрагментом разреза при гидрологическом зондировании.
- Отработана технология приёма, оцифровки, записи и дешифрирования метеорологической и другой информации передаваемой по факсимильным каналам связи от метеорологических центров. Получено и использовано при планировании и проведении экспериментов не менее 20 карт различного рода.

- Выработана концепция проведения радиолокационных и ИК-съёмок для оценки промышленной обстановки в регионе исследований.
- Второй этап эксперимента (июль 1997 г.) показал, что концепция организации сбора, обработки и архивирования данных дистанционного зондирования была выбрана правильно и может быть положена в основу отраслевой системы мониторинга за деятельностью промысловых судов (Романов, 2004; Романов и др., 1997б; Kondranin et al., 1997).
- Проведён комплексный анализ дистанционных и контактных данных. Результаты представлены в форме пространственно совмещённых РЛИ, карт аномалий морской поверхности и профилей трёх параметров, измеренных при контактном зондировании зондом AquaShuttle до глубины 50...60 м (температура, солёность, флуоресценция хлорофилла).
- Совместный анализ показал, что при определённых условиях РСА и спутниковый альтиметр дают возможность всепогодного мониторинга течений и фронтальных зон благодаря корреляции между такими характеристиками, как температура и солёность воды с одной стороны, и аномалии высоты морской поверхности и сечение радиолокационного рассеяния с другой. Установлено, что повышенная концентрация первичной продукции, оценённая в первом приближении по концентрации хлорофилла, имеет место на периферии циклонических и в центральной части антициклонических круговоротов (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1997, 1998; Romanov, 1998).

## Глава 3. КОМПЛЕКСНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общеизвестно, что океанический и морской рыбные промыслы связаны с определённым экономическим риском, который значительно возрос в последние годы в связи с возникновением новых политико-экономических условий и введением многими странами, имеющими морские границы, 200-мильных экономических зон, что привело к необходимости поиска новых методов повышения рентабельности и надёжности рыбохозяйственной деятельности на море, которые обусловлены всё большими потребностями населения в потреблении морепродуктов богатых полезными для организма человека веществами. В подобной ситуации эффективность рыболовства может быть поднята за счёт усовершенствования имеющихся и строительства новых, более современных в техническом оснащении, промысловых судов, а также — разработки новых методов промыслового прогнозирования и управления рыбодобывающим флотом (Черноок, 2001).

Капиталовложения и материальные затраты на техническую модернизацию имеющихся промысловых судов и строительство новых — чрезвычайно велики. При этом обновление судов и финансовая окупаемость вложенных средств происходит медленно. По этой причине приоритетным, с точки зрения экономичности и финансовой выгоды, что является чрезвычайно актуальным в настоящее время, следует считать второе направление, т.е. разработку новых методов промыслового прогнозирования и управления рыбодобывающим флотом, которые не требуют крупных капиталовложений и материальных затрат.

Подобные задачи решаются благодаря поиску и исследованиям зависимостей между распределением промысловых объектов и состоянием морской среды, т.е. для качественной и надёжной реализации промысловых прогнозов и эффективного управления при расстановке рыбодобывающих судов необходимы качественная и разнообразная оперативная текущая информация о состоянии моря и распределении рыбных скоплений. Эта задача традиционно решается с помощью съёмки, осуществляемых с борта специализированных НПС или НИС, оснащённых измерительными комплексами и поисковой аппаратурой.

Однако подобные работы не всегда возможны по экономическим соображениям, с точки зрения их рентабельности, и погодным условиям (большие потери судового времени на исследования из-за штормовых условий). Причём в 1990-е гг., в связи с известными финансовыми проблемами, специализированные промыслово-океанологические исследования были практически прекращены. По этой причине большое значение приобретали дистанционные, аэрокосмические, методы исследования параметров морской среды и распределений рыбных скоплений.

Основными наблюдательными платформами, с которых осуществляется мониторинг земной поверхности, и в частности моря, являются космические аппараты, запущенные на орбиты Земли, и специально оборудованные авиационные платформы (самолёты и вертолёты). В 90-е годы XX в. во многих странах ДЗЗ получило мощное развитие, подкреплённое соответствующей финансовой поддержкой, как государства, так и частных, коммерческих структур. При этом аэрокосмические исследования приобретали всё более научно-прикладной характер, где наряду с другими направлениями исследований активно развивались работы, осуществлявшиеся в интересах промысловой океанографии и рационального рыболовства.

Из целого ряда статей и информационных материалов известно, что стоимость аэрокосмических исследований в интересах промысловой океанографии и рационального рыболовства одной и той же акватории, при всех прочих равных условиях, в 8–10 раз ниже, чем судовых работ (в ценах 1990-х гг.), и при этом, выполняются как минимум в 50–75 раз быстрее судовых исследований, т.е. качество и репрезентативность данных для оперативного восстановления океанографических полей по данным ДЗЗ выше, чем по результатам судовых съёмок (Черноок, 2001) [59].

Однако, точность дистанционных аэрокосмических измерений может быть ниже контактных данных, полученных исследовательскими судами. Кроме этого, с борта НИС или НПС представляется возможность проверить и оценить численно запасы рыбы, что практически невозможно осуществить дистанционно.

Тем не менее, при правильной, рациональной, продуманной и гибкой организации и технологии проведения аэрокосмических исследований указанные недостатки могут быть сведены к минимуму, и с учётом всех прочих преимуществ эффективность ДЗЗ при выполнении исследований в интересах промысловой океанографии и рационального промысла, в первую очередь и главным образом, пелагических рыб будет в 3-4 раза выше, чем при судовых исследованиях, выполняемых с той же целью (Черноок, 2001).

### 3.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Комплексные авиационные исследования в рамках эксперимента «Норвежское море – 97» выполнялись в тесной координации и совместно с судовыми полигонными съёмками и космическим зондированием, включая радиолокационное, с космического аппарата ERS-2. Объектами авиационного мониторинга являлись пространственное распределение термических, гидробиологических и динамических данных, их мезо- и более мелкомасштабная изменчивости, распределение и поведение скумбрии, и других сопутствующих ей живых организмов (морские млекопитающие, крупные скопления птиц и т.д.).

Основными задачами авиационных исследований в рамках Эксперимента являлись:

- подготовка, организация и проведение комплексных авиасъёмок с борта специально оборудованного, на базе Ан-26 БРЛ, самолёта-лаборатории для оперативного сбора данных о текущем термическом, гидробиологическом и динамическом состоянии подстилающей поверхности;
- получение массива первичных данных для привязки и корректировки результатов спутникового зондирования, в том числе, и с использованием РСА, в интересах отработки методов и принципов надёжного анализа и интерпретации информации ДЗЗ;
- совершенствование методов, технических средств и технологий проведения комплексных авиасъёмок, в том числе и с использованием РСА;
- совершенствование методик сбора, обработки, анализа и интерпретации данных дистанционного авиазондирования в интересах промысловой океанографии и рационального рыболовства;
- информационное обеспечение научно-методической и производственной частей эксперимента;
- подготовка и принятие на основе текущей информации о состоянии морской поверхности, полученной при выполнении комплексных авиасъёмок, оперативных краткосрочных рыбопромысловых прогнозов, рекомендаций и управленческих решений с целью их дальнейшей проверки промысловыми или научно-исследовательскими судами.

Комплексный авиационный мониторинг осуществлялся в ОЧНМ и прилегающих акваториях ФРЗ, НЭЗ и АЭЗ в период 22.07–30.07.1997. При этом совместный эксперимент «КА – самолёт – судно» осуществлялся 22.07 и 25.07.1997 на подспутниковых полигонах с центром в координатах, согласно снимкам КА ERS-2, 65°35' с.ш., 3°25' в.д. и 65°35' с.ш., 2°08' в.д., соответственно.

Кроме этого, дополнительно в рамках Эксперимента были проведены комплексные авиационные съёмки на акваториях, выбранных по результатам подспутниковых исследований, судовых полигонных съёмок, информационного обмена между НИС «Академик Петров» и самолётом-лабораторией, системного анализа текущей гидродинамической, термической и синоптической ситуаций, а также промысловой обстановки на облове скумбрии по данным ПИНРО и НТФ «Комплексные системы».

Дополнительные авиационные исследования были выполнены 22.07, 25.07, 27.07, 28.07, 29.07 и 30.07.1997 на следующих акваториях (рисунок 3.1):

- 64°55'–66°35' с.ш., 0°10' з.д. – 4°45' в.д. — 22.07.1997;
- 64°20'–66°05' с.ш., 4°30' з.д. – 3°15' в.д. — 25.07.1997;
- 65°30'–66°50' с.ш., 2°00' з.д. – 2°15' в.д. — 27.07.1997;
- 63°00'–65°00' с.ш., 8°00' з.д. – 0°00' — 28.07.1997;
- 67°30'–68°45' с.ш., 2°00' з.д. – 3°00' в.д. — 29.07.1997;
- 68°55'–70°00' с.ш., 2°00' з.д. – 4°00' в.д. — 30.07.1997



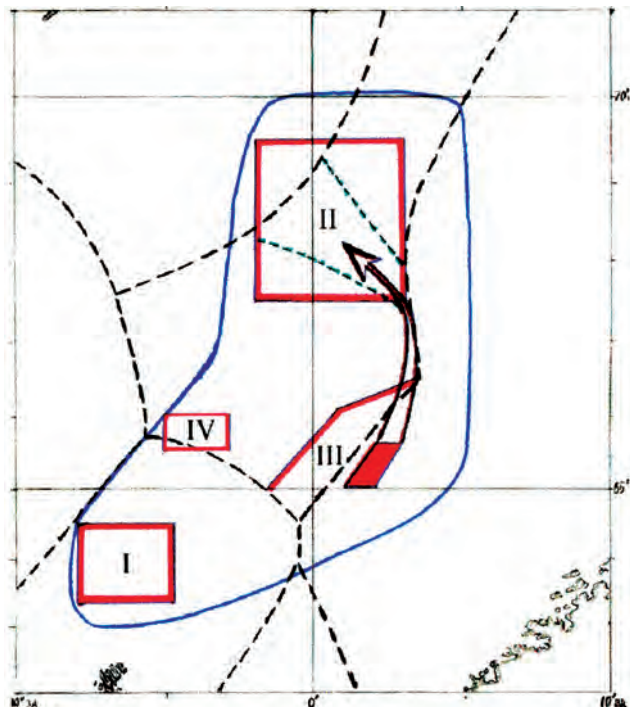


Рисунок 3.1. Район комплексных исследований Ан-26-БРЛ «Арктика» 22.07–30.07.1997

## 3.2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ САМОЛЁТА-ЛАБОРАТОРИИ «АРКТИКА» И ЕГО БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Самолёт-лаборатория «Арктика» оборудован на базе серийного самолёта компании «Аэрофлот» Ан-26Б (самолётовладелец — авиакомпания «Архангельские воздушные линии» (АК АВЛ)), ранее, до начала 1990-х гг., преимущественно использовавшегося для проведения транспортных работ и ледовых разведок.

Работы по модернизации, усовершенствованию и введению в эксплуатацию самолёта-лаборатории осуществлялись специалистами ПИПРО в тесном сотрудничестве с лётно-техническими службами АК АВЛ.

### 3.2.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОЛЁТА-ЛАБОРАТОРИИ «АРКТИКА»

Наряду со стандартными, обычными, требованиями для данного типа самолётов к длине и качеству взлётно-посадочной полосы, «Арктика» выгодно отличалась от серийных самолётов «Аэрофлота» Ан-26Б следующими показателями:

- наличие дополнительного топливного бака объёмом 4500 л, обеспечивающего существенное увеличение продолжительности и дальности полёта;
- наличие штатной спутниковой навигационной системы GPS;
- наличие специальной антиобледенительной системы;
- наличие люков, позволяющих проводить перспективную съёмку и установку дополнительных измерительных средств дистанционного авиационного исследования;
- возможность сброса на морскую поверхность буёв и теряемых зондов, позволяющих получать данные об условиях среды в подповерхностном слое вод;
- наличие люка, обеспечивающего контроль за падающей солнечной радиацией;
- возможность обеспечения высоких стандартов по безопасности полётов в течение длительного полётного времени;

Морская летающая лаборатория «Арктика» имела следующие основные характеристики:

- максимальная дальность полёта — 3100 км;
- максимальная продолжительность полёта — 9 ч;
- скорость полёта на высоте проведения авиасъёмки — до 350 км/ч;
- стандартные высоты проведения авиасъёмки — 50...3000 м;
- минимальная длина взлётно-посадочной полосы — 1300 м;
- максимальная взлётная масса — 25 т;
- максимальная загрузка — 5 т.

Самолёт-лаборатория «Арктика» была оснащён спутниковой навигационной системой GPS, обеспечивающей точное самолётовождение и координатную привязку измеряемых параметров морской поверхности, любых других видов авиасъёмки и результатов визуальных наблюдений. Данные GPS автоматически вводятся в бортовую автоматизированную систему (БАС), что даёт возможность оперативного отображения маршрута полёта на экране монитора персонального компьютера (ПК) БАС с указанием его параметров.

### 3.2.2. ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ САМОЛЁТА-ЛАБОРАТОРИИ «АРКТИКА» И ИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Измерительные комплексы самолёта-лаборатории «Арктика» работали в широком диапазоне электромагнитных длин волн (видимом, инфракрасном и радиодиапазонах) и использовались для авиационных исследований морской поверхности в активном и пассивном режимах. При этом к первым относятся технические средства, которые сначала излучают на поверхность моря электромагнитные волны, а затем — принимают обратно отражённый сигнал возбуждённый падающим излучением от измерителя, а ко вторым — измерительные комплексы, только принимающие восходящие от морской поверхности, излучённые ею электромагнитные волны. Исходя из этого, измерительные комплексы активного режима в меньшей степени зависят от погодных условий по сравнению с пассивными.

#### 3.2.2.1. ИК-радиометрический комплекс

Работает в пассивном режиме в инфракрасном диапазоне электромагнитных длин волн и предназначен для определения тепловых условий поверхностных вод и значений ТПО с целью изучения пространственно-временной изменчивости. Комплекс работает в любое время суток с оптимальных высот полёта 200...300 м. Однако его применение затруднено или становится практически невозможным при наличии облачности на высоте съёмки (полёта самолёта) или ниже, а также — дымки, туманов, интенсивных осадков.

Работа комплекса полностью автоматизирована и практически не требует вмешательства оператора.

В состав комплекса входит ИК-радиометр АИР (разработка Санкт-Петербургского электротехнического университета), обладающий следующими основными техническими характеристиками:

- спектральный диапазон — 8...13 мкм;
- диапазон, измеряемых температур —  $-2...+45$  °С;
- угол обзора — до 3°;
- инструментальная погрешность измерений — не хуже 0,2 °С.

#### 3.2.2.2. Спектрометрический комплекс

Спектрометрический комплекс функционирует в пассивном режиме и предназначен для измерения спектральных отражательных характеристик морской поверхности в целях определения оптических характеристик воды с последующим расчётом концентрации хлорофилла и идентификации на его основе зон повышенной первичной биопродуктивности.

В состав комплекса входит спектрометр высокого разрешения LI-1800 (производство фирмы LI-COR, США). Комплекс устанавливается в передней части салона самолёта. При этом восходящий, излучённый морской поверхностью поток, фиксируется в фотолоке с помощью стекловолоконного зонда длиной 5 м, а нисходящий — в астролюке, находящемся у кабины пилотов.

LI-1800 имеет следующие основные технические характеристики:

- спектральный диапазон — 350...850 нм;
- спектральное разрешение — 4 нм;
- точность волновой шкалы — 1,5 нм;
- время полного цикла измерения (период сканирования) — 30 с;
- количество точек спектра — до 500;
- точность калибровки — не хуже 5 %.

Работа комплекса полностью автоматизирована и не требует вмешательства оператора. Вся информация, получаемая в процессе измерений, поступает в бортовой компьютер, где в реальных координатах и времени рассчитываются необходимые спектральные характеристики с последующим определением, по калибровочным уравнениям, концентраций хлорофилла.

Комплекс работает только при освещённости не менее 100 люкс, отсутствии облачности, туманов, дымки на высоте полёта и ниже, а также — интенсивных осадков. При этом волнение моря не должно превышать четырёх баллов. Указанные обстоятельства существенно ограничивают возможности применения комплекса при дистанционных авиационных исследованиях морской поверхности.

### 3.2.2.3. Комплекс ДИДИКОН

Комплекс работает в пассивном режиме в видимом диапазоне электромагнитных длин волн и предназначен для идентификации зон конвергенции и дивергенции на основе исходных измеренных данных интенсивности обрушений ветровых волн (барашки на гребнях обрушивающихся волн) путём выделения и подсчёта количества пенных обрушений, доли покрытия пеной соответствующих участков морской поверхности.

Комплекс, включая теорию и идеологию использования, программно-математическое и техническое обеспечение, разработан и создан в МГИ АН Украины и не является серийным, традиционно используемым инструментальным средством дистанционного авиационного зондирования.

В зонах конвергенции поверхностных течений, где осуществляется концентрация кормовой базы пелагических рыб, происходит интенсификация обрушений ветровых волн, проявляющаяся в увеличении количества пенных обрушений и доли покрытия пеной определённого участка морской поверхности (Черноок, 2001). Однако при этом пространственная изменчивость поля интенсивности обрушений может быть вызвана и естественной изменчивостью приводной скорости ветра, которая может быть рассчитана на основе фактически измеренных данных о температуре, влажности воздуха и скорости ветра на высоте полёта и ТПО. Скорость ветра на высоте полёта определяется по аэронавигационным параметрам (путевой и воздушной скоростям, углу сноса самолёта).

Таким образом, совместная обработка данных об интенсивности обрушений ветровых волн и поля приводного ветра позволяет выделить аномалии интенсивности обрушений, не связанные с ветром, а обусловленные только процессами конвергенции или гидродинамическими эффектами и неоднородностями на поверхности моря. При этом интенсивность пенных обрушений измеряется в реальных координатах и времени.

Комплекс ДИДИКОН состоит из измерительной оптической головки, электронного блока и ПК. Контроль за работой комплекса, запись данных и последующая их обработка осуществляются с помощью специально разработанного программно-математического обеспечения, являющегося неотъемлемой частью комплекса.

Комплекс работает по следующей схеме. Оптическая головка регистрирует абсолютную яркость тысячи элементов морской поверхности, расположенных вдоль полосы, имеющей

угловой размер относительно самолёта  $26^\circ$  при высоте полёта 200 м (для больших высот угловой размер можно уменьшить для сохранения величины пространственного разрешения прибора, путём замены объектива). Считывание данных с головки происходит с частотой 40 Гц. Обрушения выделяются по превышению яркости элемента морской поверхности порогового значения, которое определяется по яркости ранее зарегистрированных барашков, вследствие чего она автоматически подстраивается под естественные изменения освещённости. При этом одновременно регистрируется яркость морской поверхности свободной от обрушений. Если величина порога опускается до значений этой яркости, данные выбраковываются. Результаты измерений, осреднённые за 3,5 с, записываются на жёсткий диск ПК.

Эффективное использование комплекса ограничено освещённостью и атмосферными явлениями в области исследований (облачность, дымка, туманы, интенсивные осадки и т.д.). Для успешной и эффективной работы прибора необходимо, чтобы в его поле зрения не попадали солнечные блики (достигается выбором направления визирования прибора).

Обработка данных осуществляется следующим образом:

- раскодирование исходных записей;
- привязка их по времени к служебной информации (из протокола полёта), получаемой независимо;
- вычисление по служебной информации (путевой и воздушной скоростям, углу сноса) скорости ветра на высоте полёта с помощью штатной самолётной радиолокационной системы доплеровского измерения скорости и сноса (ДИСС), а также — автоматизированного навигационного устройств (АНУ);
- вычисление с привлечением служебной информации (высота полёта, температура и влажность воздуха здесь, ТПМ) приводной скорости ветра;
- расчёт информативного параметра, по величине которого идентифицируются зоны конвергенции, участки гидродинамических неоднородностей.

Конечным результатом обработки являются карты, на которых показаны в изолиниях поля обрушений — доля от общей площади отснятой поверхности моря, покрытой пеной (рисунки 3.2–3.4). Совместный анализ этих карт с рассчитанными значениями скорости ветра позволяет идентифицировать наиболее вероятные зоны конвергенций.

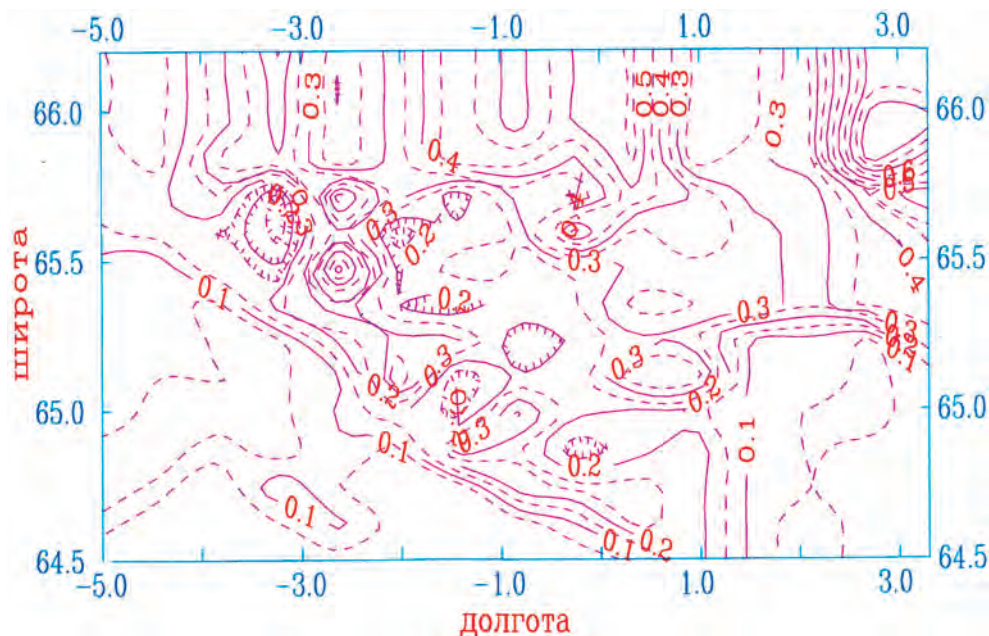


Рисунок 3.2. Результаты зондирования комплексом ДИДИКОН 25.07.1997

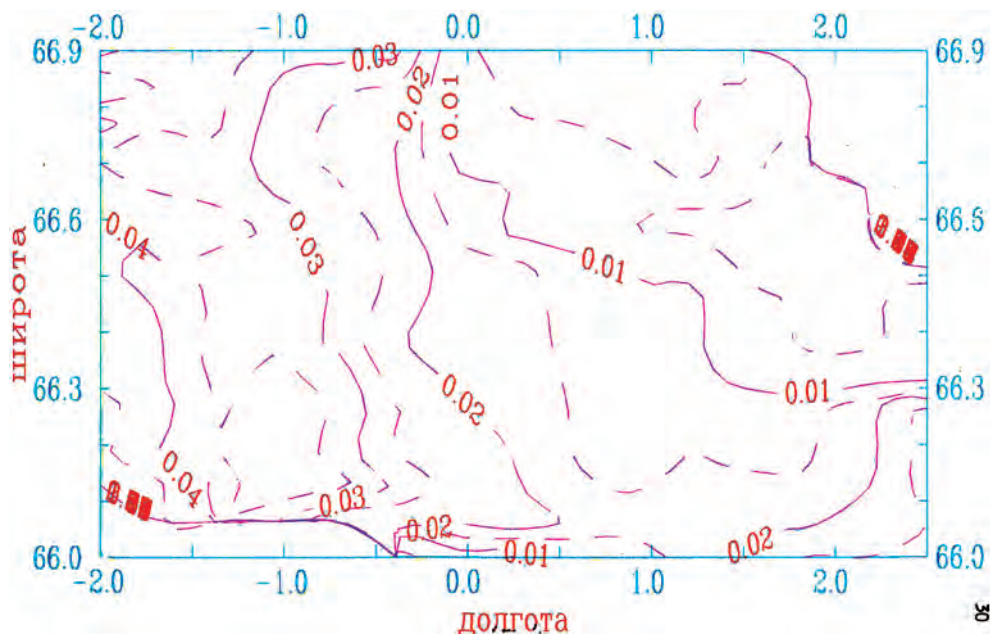


Рисунок 3.3. Результаты зондирования комплексом ДИДИКОН 27.07.1997

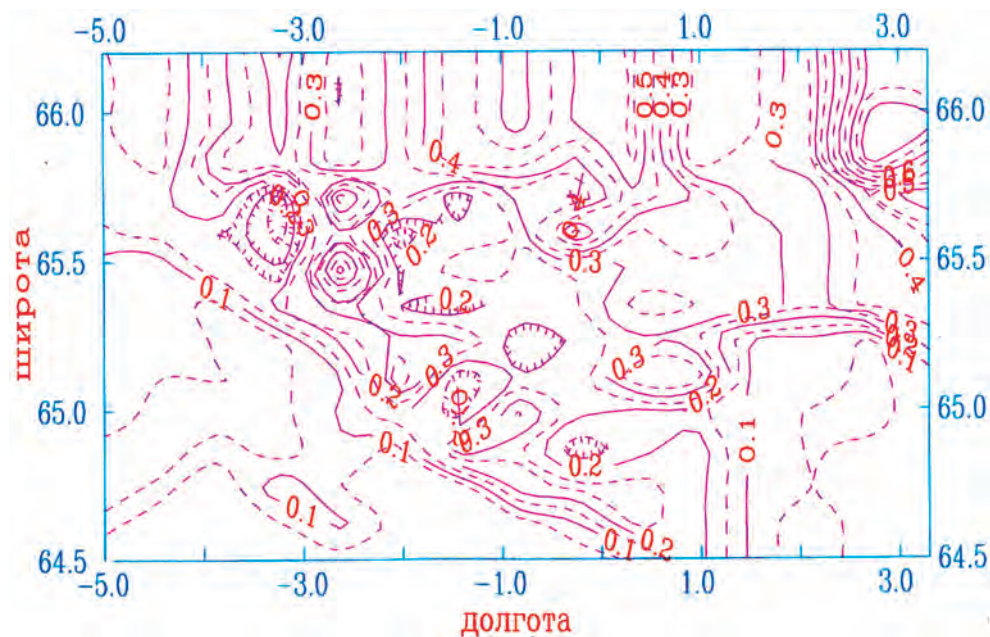


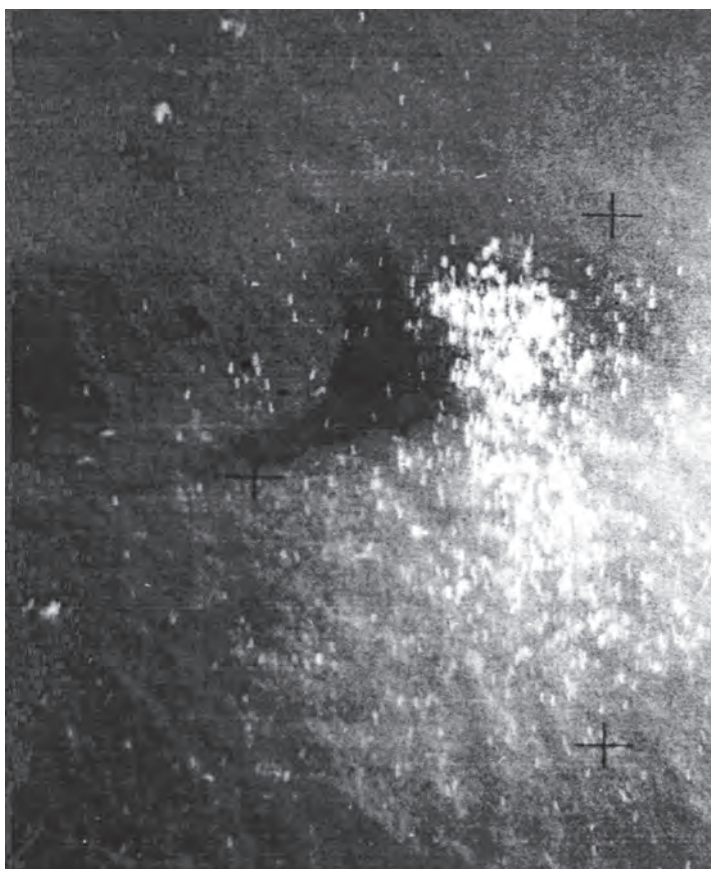
Рисунок 3.4. Результаты зондирования комплексом ДИДИКОН 28.07.1997

#### 3.2.2.4. Комплекс аэрофото- и видеосъёмки

Комплекс аэрофото- и видеосъёмки предназначен для исследования наиболее ярких гидрофизических явлений и эффектов на морской поверхности, представляющих интерес для промысла пелагических рыб (фронты, вихри, меандры, скопления фито- и зоопланктона и т.п.), а также различных объектов, в том числе косяков рыбы и промысловых судов (рисунки 3.5–3.8).



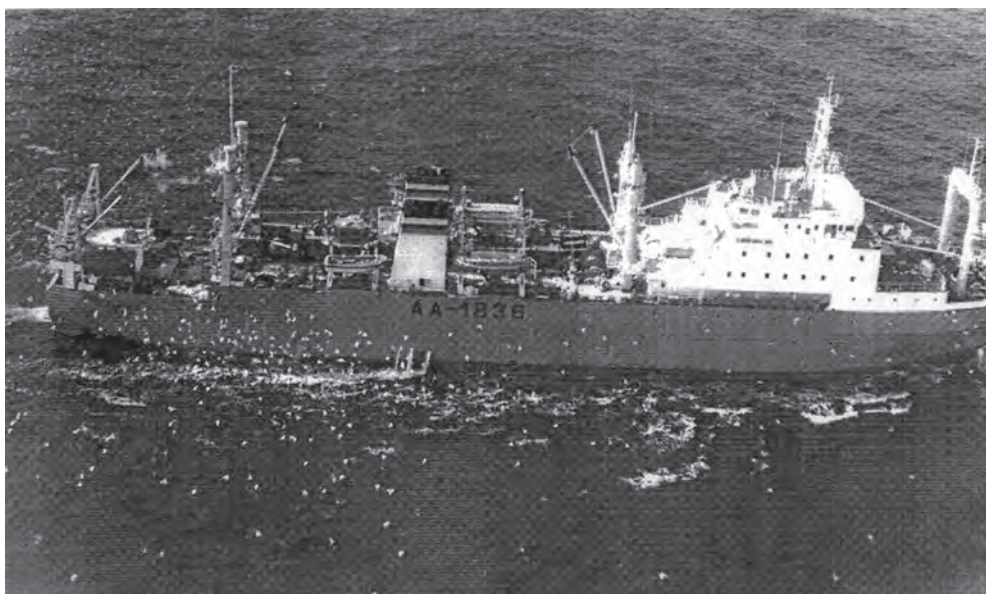
**Рисунок 3.5.** Типичное фотоизображение фронтального раздела на поверхности моря.



**Рисунок 3.6.** Типичное фотоизображение косяка рыбы (тёмная подковообразная фигура в центре кадра)



**Рисунок 3.7.** НИС «Академик Борис Петров»



**Рисунок 3.8.** Рыбопромысловое судно на облове скумбрии

Комплекс обладает недостатками (Забавников, 2006; Черноок, 2001), которые присущи измерительной аппаратуре, работающей в видимом диапазоне электромагнитных длин волн, т. е. его применение существенно ограничено освещённостью и атмосферными явлениями. Тем не менее, комплекс обладает и серьёзным преимуществом по сравнению с другими средствами авиасъёмки на борту самолёта, которое заключается в его высокой разрешающей способности.

Аппаратура аэрофотосъёмки (АФС) включал в себя стандартную аэрофотокамеру РА-39 и фотокамеру Hasselblad 500 CM со сменными объективами. Процесс аэрофотосъёмки с помощью РА-39 дистанционно управляется с помощью бортовой автоматизированной системы, что позволяет сделать основной цикл работы АФС автоматизированным и обеспечить координатно-временную привязку отснятого фотоматериала, соотнести его с другими данными, получаемыми во время дистанционных авиационных исследований моря.

Аппаратура видеосъёмки обеспечивает оперативную регистрацию объектов и явлений на морской поверхности с помощью видеокамер, как в нади́р, так и в перспективе в различных ракурсах. Основное преимущество видеосъёмки состоит в оперативности получения конечных результатов и возможности контроля за динамикой процессов. Кроме этого, видеокамеры, давая цветное изображение, могут работать, как в режиме естественной цветопередачи, так и максимально усилить цветовые контрасты. Аппаратура видеосъёмки включала в себя видеокамеры с углом зрения 6, 25 и 40°, два видеомагнитофона, на которые ведётся запись видеосигналов с видеокамер, а также — контрольный видеомонитор. При этом одновременно с видеозаписью ведётся запись речевой информации на звуковые дорожки видеомагнитофонов.

### 3.2.2.5. Радиолокационный комплекс с синтезированной апертурой (РЛК РСА)

Система РЛК РСА работает в активном режиме независимо от погодных условий в любое время суток и предназначен для исследований морской поверхности в диапазоне длин волн — 23 см. При этом наибольшая эффективность использования РЛК РСА достигается при зондировании с высоты полёта 1000 м. Указанные обстоятельства обеспечивают комплексу существенное преимущество перед всеми другими техническими средствами авиационных исследований. Поскольку, при осуществлении зондирования в морях Северо-Европейского бассейна, в том числе и в Норвежском море, часты низкая облачность, туманы, дымки, интенсивные осадки и прочие атмосферные явления, затрудняющие качественное проведения авиационных съёмок или делающие их выполнение и вовсе невозможным.

В основе использования радиолокации морской поверхности в интересах промысловой океанографии лежат общеизвестные физические принципы отражения радиоволн от шероховатой поверхности (Радиолокация..., 1990), в данном случае взволнованной поверхности моря, что позволяет достаточно надёжно и эффективно идентифицировать по радиолокационному изображению гидродинамические неоднородности на морской поверхности (фронты, вихри, меандры и т.д.), а также — косяки крупных пелагических рыб таких, как например, скумбрия (рисунки 3.9, 3.10).

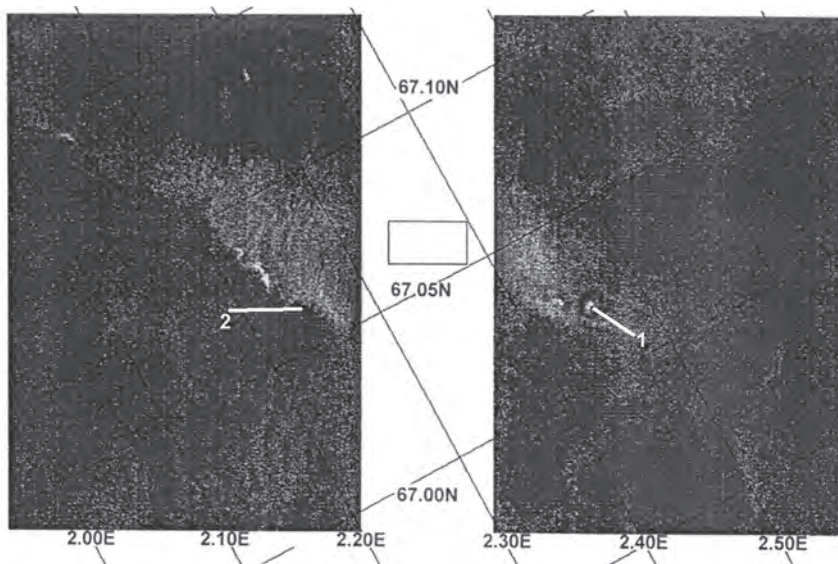
Основные технические характеристики РЛК РСА:

- длина волны излучения — 23 см;
- пространственная разрешающая способность:
  - при обработке в реальном времени — 16 м;
  - при наземной обработке — 8 м;
- мощность излучения — 100 Вт;
- потребляемая мощность — 5,4 кВт.

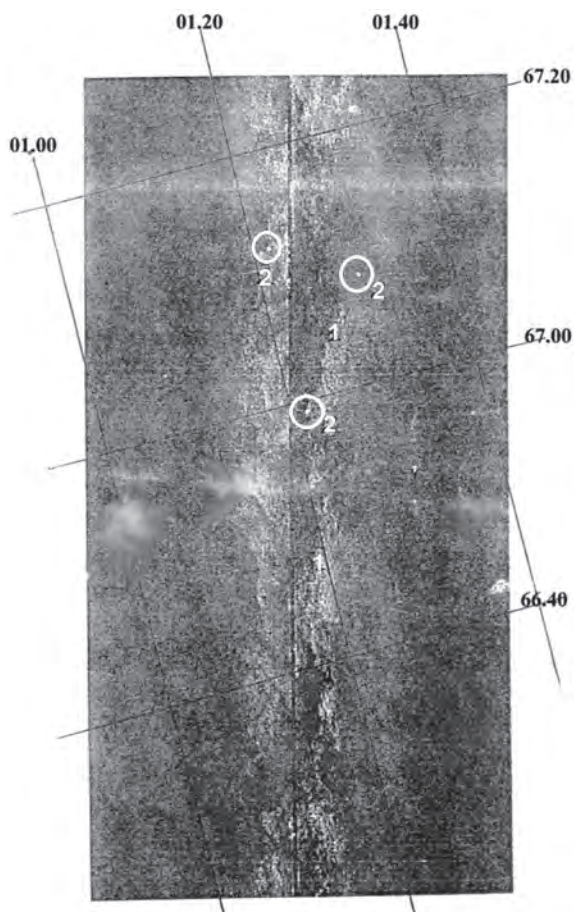
Во время осуществления радиолокационного зондирования в рамках эксперимента отражённый от морской поверхности сигнал принимался антенной, усиливался и корректировался в приёмнике РСА. В зависимости от выбранной поляризации (НН, НV, VН, VV) происходит коммутация сигнала, после чего он поступает в блок обработки, где происходит накопление сигнала за несколько зондирований (в данном конкретном случае — 16, так как сигнал имеет большую избыточность) и выбор необходимой полосы обзора (диапазон дальности от 0 до 32 км разбит на четыре восьмикилометровые полосы).

После этого информация РСА, представляющая собой голограмму поверхности в дециметровом диапазоне, готова к дальнейшей обработке. В зависимости от выбранного режима работы происходит преобразование сигнала к телевизионному стандарту ПАЛ или используется цифровой вид сигнала (оперативная обработка). Для оперативной обработки результатов радиолокационного зондирования использовался ПК.





**Рисунок 3.9.** Типичное радиолокационное изображение фронтального раздела и косяка скумбрии (1 и 2, соответственно).



**Рисунок 3.10.** Типичное радиолокационное изображение участков гидродинамических неустойчивостей: 1 — вихри; 2 — косяки скумбрии

### 3.2.2.6. Визуальные наблюдения

Наблюдения являются наиболее распространённым и самым продолжительным по времени методом авиасъёмки в истории осуществления авиационных исследований моря в интересах промысловой океанографии, т.е. здесь институтом ПИНРО накоплен самый большой и богатый научно-практический и методический опыт организации, проведения, интерпретации, представления и обобщения результатов авиасъёмок.

Визуальные наблюдения при проведении авиасъёмок осуществляются за подстилающей морской поверхностью и окружающим воздушным пространством с целью идентификации и дополнения ими результатов инструментального авиационного зондирования. При этом все обнаруженные явления, объекты и эффекты как на поверхности моря, так и в воздухе, по линии внутрисамолётной связи (СПУ), доводятся до сведения оператора самолётной БАС, который вводит эти данные в бортовой компьютер, после чего они выводятся на печать в протоколе полёта и записываются в память ПК.

К недостаткам визуальных наблюдений следует отнести зависимость их качества, эффективности и надёжности от погодных условий, наличия облачности, туманов, дымки, интенсивных осадков и т.д., а также — от освещённости и времени суток, хотя и в меньшей степени. Визуальные наблюдения обычно осуществляются опытными наблюдателями (океанологами, ихтиологами, гидробиологами), имеющими богатый научно-практический опыт и знания в указанных научных областях. Наблюдения на борту Ан-26 «Арктика» осуществлялись с обоих бортов через блистеры, имеющие антиобледенительную систему, на специально оборудованных для этого местах.

Результаты визуальных наблюдений обобщаются, анализируются и интерпретируются по данным протокола полёта в реальном времени специалистом-интерпретатором на борту самолёта-лаборатории, после чего наносятся на комплексную карту результатов авиасъёмки в виде условных обозначений наряду с другими результатами авиационного зондирования (рисунки 3.11–3.15).

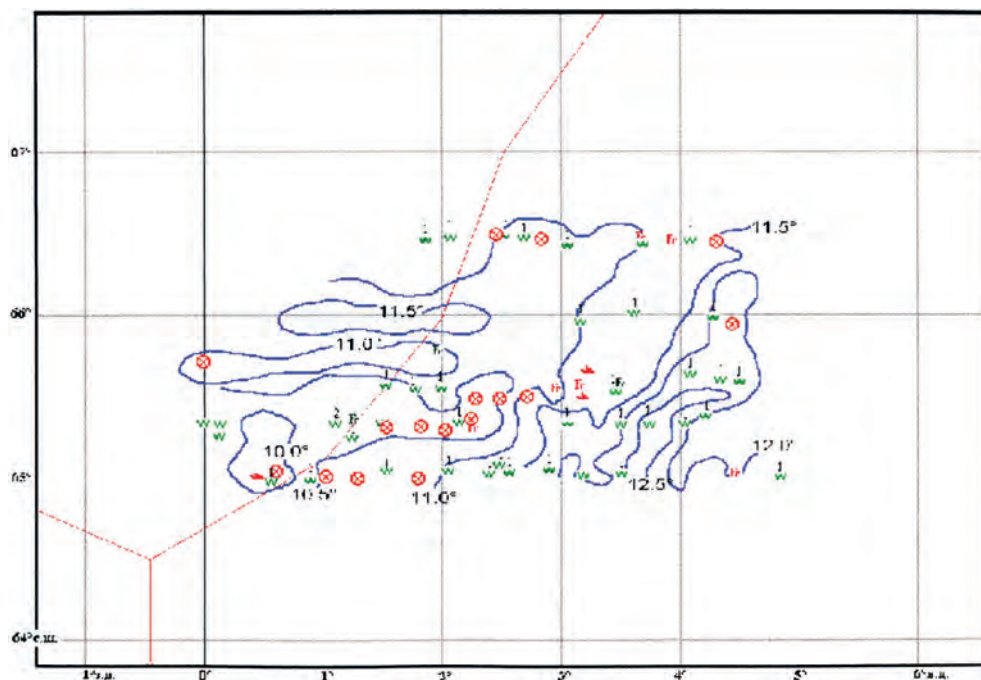


Рисунок 3.11. Карта результатов комплексной авиасъёмки за 22.07.1997

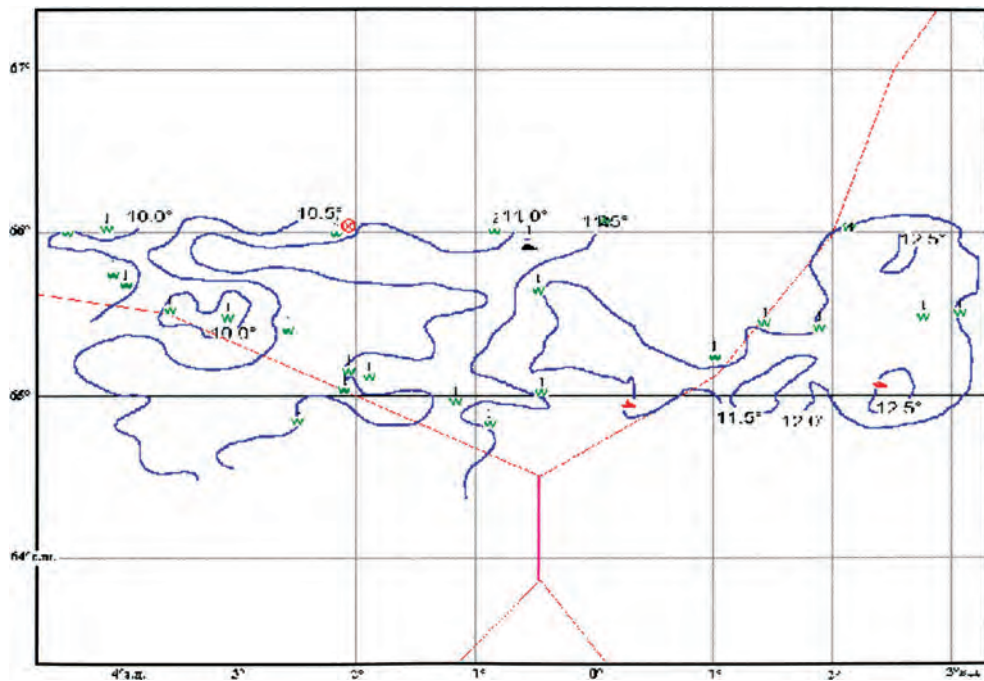


Рисунок 3.12. Карта результатов комплексной авиасъёмки за 25.07.1997

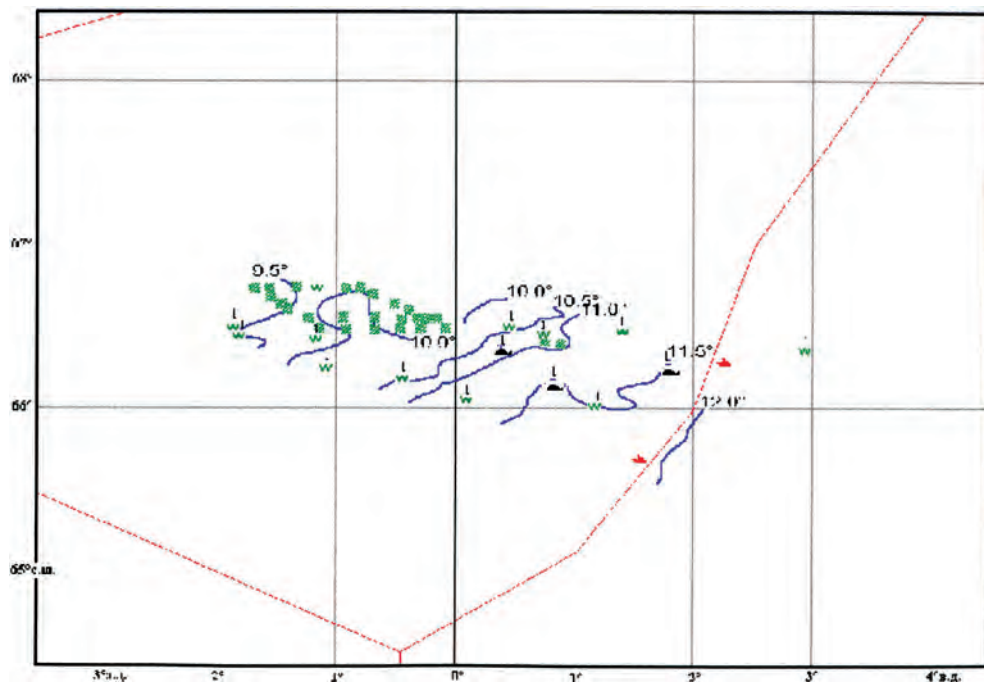


Рисунок 3.13. Карта результатов комплексной авиасъёмки за 27.07.1997

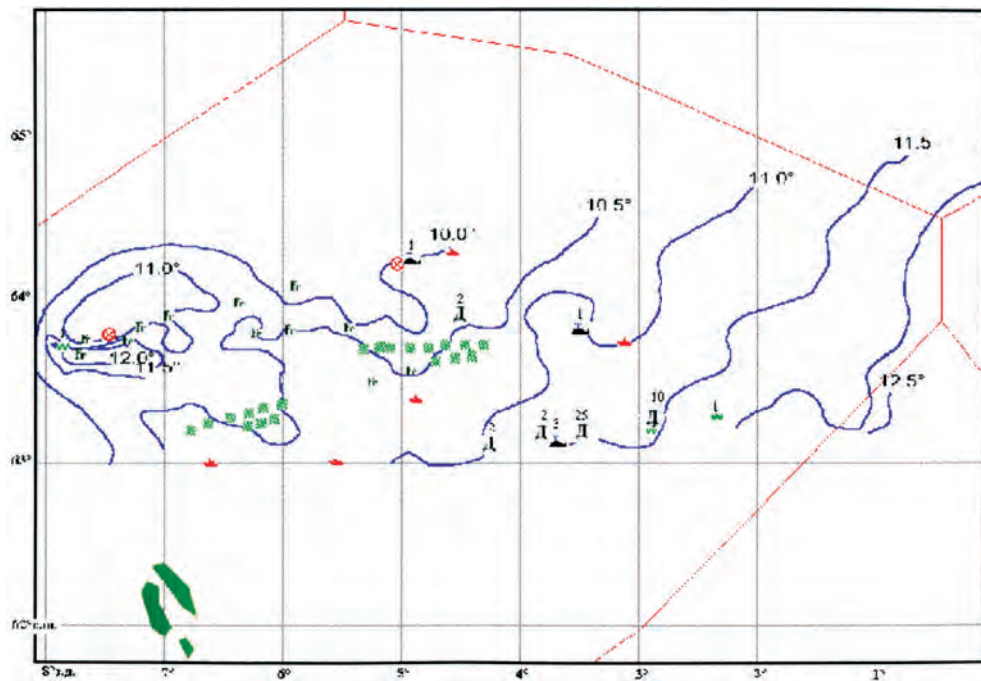


Рисунок 3.14. Карта результатов комплексной авиасъёмки за 28.07.1997

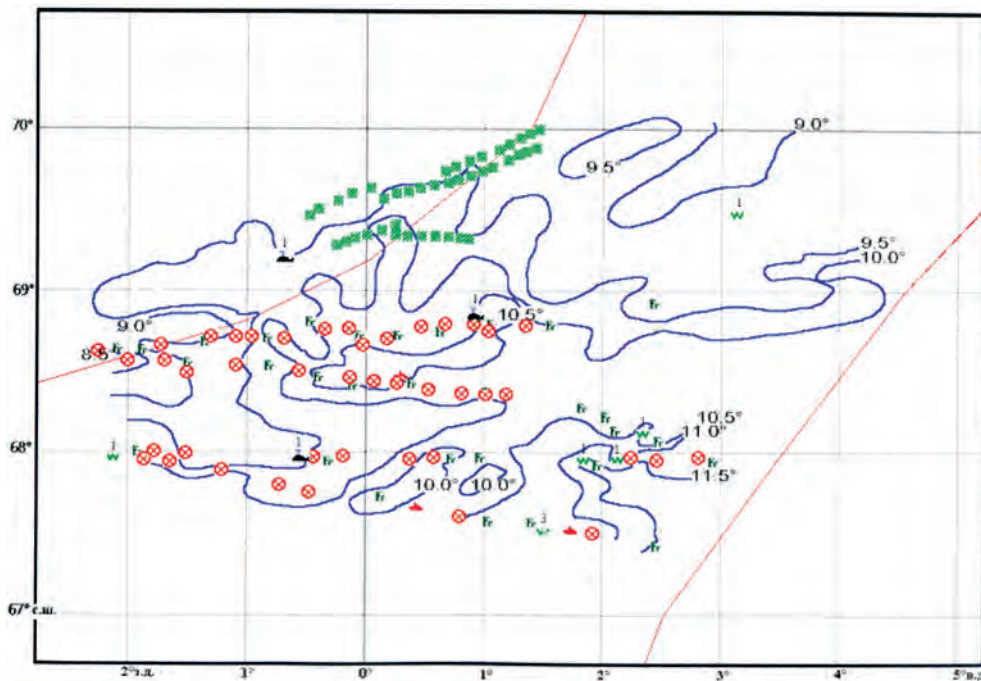


Рисунок 3.15. Карта результатов комплексной авиасъёмки за 29.07–30.07.1997

### 3.2.3. РАДИОСВЯЗНАЯ АППАРАТУРА. БОРТОВАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Комплекс радиосвязной аппаратуры, БАС и программно-математическое обеспечение относятся к дополнительным, вспомогательным средствам, обеспечивающим высокое качество, надёжность и эффективность авиационных исследований и при этом являющихся их неотъемлемой частью.

#### 3.2.3.1. Радиосвязная аппаратура

Радиосвязная аппаратура предназначена для двухстороннего обмена информацией и связи с судами и береговыми центрами, включая передачу данных в виде файлов и изображений. В состав бортовой самолётной радиосвязной аппаратуры входят:

- штатная самолётная КВ-радиостанция;
- УКВ-радиостанция SAILOR;
- система спутниковой связи Inmarsat;
- СПУ.

Штатная самолётная КВ-радиостанция обладает техническими характеристиками, возможностями и эксплуатационными требованиями аналогичными стандартным КВ-радиостанциям, используемым как на судах, так и в береговых центрах.

УКВ — радиостанция SAILOR имеет следующие основные технические характеристики:

- каналы связи — все стандартные международные морские УКВ-каналы;
- диапазон частот — 154,40...163,75 МГц;
- выходная мощность — 1 Вт, 25 Вт;
- напряжение питания — 12 В;
- энергопотребление — 5 А.

Система спутниковой связи Inmarsat предназначена для обеспечения надёжной связи между самолётом и любым потребителем информации, находящимся в воздухе, на земле или в море. Она позволяет осуществлять приём и передачу телексных и факсимильных сообщений на подобную станцию или в наземный центр, а также проводить обмен информацией между потребителями, используя компьютерные сети интернет (<https://www.inmarsat.com>).

На борту самолёта «Арктика» в качестве приёмо-передатчика Inmarsat использовался трансивер ТТ-3020В, обладающий следующими основными техническими характеристиками:

- частота передачи — 1626,5...1646,5 МГц;
- частота приёма — 1530...1545 МГц;
- скорость передачи данных — 600 бит/с;
- потребляемая мощность:
- в режиме приёма — 9,5 Вт;
- в режиме передачи — 80 Вт.

При работе на борту самолёта-лаборатории «Арктика» с системой Inmarsat никаких специальных требований к обработке результатов не предъявляется. Работа с системой происходит в реальном времени после запуска программы в режиме приёма сообщений не требует участия оператора.

Эксплуатация системы Inmarsat на борту «Арктики» позволило сделать следующие основные заключения:

- реализована возможность оперативной своевременной, в квазиреальном времени, доставки информации (почты) к потребителю (ПИНРО), что говорит о высокой скорости и надёжности доставки информации потребителю;

- большая степень защиты информации от несанкционированного доступа к ней.
- СПУ предназначена для внутрисамолётной связи между операторами измерительных комплексов, БАС, океанологом-интерпретатором, бортнаблюдателями и экипажем.

### 3.2.3.2. Комплекс бортовой автоматизированной системы сбора и обработки данных

Система БАС предназначен для сбора, первичной обработки и представления в реальном времени и координатах всего массива информации, поступающего от измерительных комплексов самолёта-лаборатории, бортовых наблюдателей и штатных авиационных систем.

Основной частью комплекса является центральный компьютер, куда поступают аналоговые сигналы от измерительных датчиков и самолётных систем, в том числе и GPS, а также результаты визуальных наблюдений. После этого происходит обработка всей поступившей информации в реальном времени и координатах, с последующим представлением результатов в протоколе полётов и их записью на магнитные носители для последующей их наземной тематической обработки и пополнения базы данных.

Центральный компьютер БАС связан с компьютером РЛК РСА и передаёт сообщения, содержащие навигационные параметры полёта самолёта для привязки результатов радиолокационного зондирования к географическим координатам и времени. Кроме этого, через центральный компьютер БАС даются команды на автоматическое срабатывание затвора аэрофотокамеры РА-39 с целью привязки каждого фотокадра по координатам и времени.

Связь с ПК комплекса ДИДИКОН и спектрометрического комплекса осуществляется посредством передачи данных на дискетах и последующей их обработки во время обратного перелёта.

Как уже отмечалось ранее, БАС выводит результаты авиационного зондирования и визуальных наблюдений в реальных координатах и времени на печать, после первичной обработки, в виде протокола полёта, с одновременной записью на магнитный носитель. Причём данные представляются с заданным дискретным шагом, который может изменяться в пределах от 2 до 60 с.

Одновременно с выводом на печать протокола полёта на мониторе БАС отображается карта маршрута авиационной съёмки. Твёрдая копия этой карты с условными обозначениями и символами строится после завершения работы на перелёте к аэропорту базирования. При этом одновременно обрабатываются данные спектрометрического комплекса и аппаратуры ДИДИКОН, окончательная, точная, подробная, тематическая обработка которых осуществляется на берегу.

Таким образом, результатом работы БАС являются:

- протокол полёта, содержащий следующие величины — дата, время, широта и долгота места, высота, курс и скорость полёта, ТПМ, счётчик кадров АФС, объекты, условия;
- карта маршрута полёта с линиями и символами;
- протокол работы спектрометрического комплекса, включающий в себя — дату, время, широту и долготу места, файлы исходных спектров восходящей и нисходящей радиации, коэффициенты цвета, концентрации хлорофилла, прозрачность воды, ТПМ;
- сообщения в компьютер РЛК РСА, содержащие дату, широту и долготу места, скорость и курс полёта самолёта;
- сигналы на срабатывание затвора АФС;
- служебная информация для системы ДИДИКОН — дата, широта и долгота места, высота полёта, температура, давление и влажность на высоте полёта, ТПМ, компоненты воздушной и путевой скорости, по которым расчётным путём получают скорость ветра и угол сноса.

Результатом каждого авиасъёмочного полёта является карта результатов комплексной авиасъёмки (см. рисунки 3.11–3.15), которая строится на основе специальной обработки, анализа, интерпретации и обобщения океанологом-интерпретатором всего массива данных, получен-

ных при проведении авиационных исследований, непосредственно после их завершения. На этой карте представлены весь комплекс обработанных данных, полученных в результате авиационных исследований и рекомендации по промыслу, если таковые могут быть даны.

### 3.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ АВИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.3.1. ОСНОВНЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО АВИАМОНИТОРИНГА

Комплексные авиационные исследования во время Эксперимента осуществлялись в соответствии с традиционными многолетними организационно-методическими принципами. Однако, при этом, имели место и ряд отличий, положительным образом сказавшихся на качестве, надёжности и эффективности проведения авиасъёмки.

В целях сокращения непроизводительных затрат при проведении комплексных авиационных исследований, связанных с перелётами от аэропортов к акватории съёмки, в качестве аэропортов временного базирования самолёта-лаборатории были приняты аэропорты на побережье Норвегии — Аллесунд и Тромсё, что значительно снизило временные и прочие ресурсные издержки. При этом затраты на аэродромное базирование и авиационное обслуживание были соизмеримы с российскими.

Отработана схема использования компьютерных и спутниковых технологий при информационной поддержке планирования и выполнения авиасъёмки в интересах оперативного обеспечения поиска и промысла скумбрии. С этой целью успешно были реализованы следующие задачи:

- на этапе подготовки эксперимента, был определён состав и согласован формат обмена информацией между Информационным центром (НТФ «Комплексные системы») и самолётом-лабораторией Ан-26 БРЛ;
- разработан и установлен в пунктах временного базирования самолёта-лаборатории исследовательский прототип информационно-аналитической компьютерной системы поддержки планирования и проведения авиасъёмки, которая включала в себя электронный аналог карты района, развитую фактографическую базу знаний и анализа данных состояния среды, биологических объектов и промысла.

Кроме этого, при планировании и подготовке каждого авиасъёмочного полёта по каналам связи (преимущественно по факсу) в пункты временного базирования самолёта Ан-26 БРЛ «Арктика» из Информационного центра не реже двух раз в сутки передавались следующие материалы:

- результаты диагностики и анализа промысловых ситуаций;
- анализ текущих синоптических процессов (по методике Савичева);
- данные о ТПМ, полученные от рыбодобывающих судов, оборудованных транспондерами спутниковой системы ARGOS;
- данные спутникового мониторинга дислокации и траекторий перемещения промысловых судов.

Совместный комплексный анализ, интерпретация и обобщение, перечисленных данных и фактографических знаний информационно-аналитической системы позволили оптимально планировать маршруты и сроки каждого авиационного исследовательского полёта.

Комплексные авиасъёмки выполнялись по специально разработанным маршрутам, основные требования к которым состояли в следующем:

- галсы на подспутниковых полигонах, размерами 60×60 миль и с центрами, указанными в разделе 3.1, были проложены с шагом 15 миль и обязательно один из галсов проходил через центр полигона (центр радиолокационного изображения ERS-2) и над НИС «Академик Борис Петров» (см. рисунок 2.6);

- галсы пересекали участки термических фронтальных разделов или наибольшей изменчивости ТПО в направлении близком к перпендикулярному. Указанные районы определялись исходя из режимных данных по Норвежскому морю, а также информации предыдущих комплексных авиасъёмок в регионе;
- галсы маршрутов проходили над участками, предложенными на основе анализа информационных материалов НТФ «Комплексные системы» и ПИНРО, в которых наиболее вероятны формирование промысловых скоплений скумбрии.

При этом в каждом вылете, по возможности, один из галсов проходил через точку корабля погоды «М» (средние координаты — 66° с.ш., 02° в.д.) с целью привязки абсолютных значений данных ТПО, полученных при авиационном зондировании. В случае, если это не представлялось возможным, результаты температурного авиационного зондирования поверхности моря корректировались по судовым данным ТПО, получаемым с рыбопромысловых судов, оснащённых датчиками системы ARGOS и находящихся в районе авиационных исследований.

Расстояния между галсами выбирались, исходя из знаний о пространственной изменчивости и структуре гидрофизических полей, а также требований к точности их восстановления.

Перелёты в район работ из аэропортов временного базирования осуществлялись обычно на высоте 3500...5000 м со скоростью до 400 км/ч. При этом, производились визуальные наблюдения за морской поверхностью (если позволяли метеоусловия) и непрерывное радиолокационное зондирование поверхности моря РЛК РСА с целью обнаружения условий и явлений благоприятных, в гидродинамическом (фронты, вихри, меандры и т.п.) и биологическом (пятна зоо- и фитопланктона) отношении для формирования скоплений скумбрии, а также — их прямого обнаружения.

По прибытии в район непосредственного проведения комплексной авиасъёмки самолёт занимал рабочую высоту 200 м. Если же на этой высоте или ниже наблюдались те или иные атмосферные явления (облачность, сильный туман или дымка, интенсивные обложные осадки и т.п.), затрудняющие качественное выполнение или полностью препятствующие инструментальному авиазондированию в видимом и инфракрасном диапазоне электромагнитных длин волн, а также — визуальным наблюдениям, самолёт опускался ниже, на высоту, где съёмка могла быть проведена достаточно качественно и надёжно. Однако эта высота не могла быть ниже 50 м с целью успешного осуществления визуальных наблюдений, обеспечения безопасности полётов и надёжной работы, в соответствии с техническими требованиями и возможностями РЛК РСА.

Наличие дымки и туманов ниже 50 м затрудняло качество выполнения визуальных наблюдений и ИК — зондирования, но не препятствовало их успешному проведению полностью, что нельзя сказать о спектрометрическом зондировании и съёмке комплексом ДИДИКОН. В связи с этим оператор этих комплексов осуществлялось непрерывное слежение за наличием туманов или дымки и моменты их присутствия отмечались в специальном журнале с целью дальнейшего исключения этих участков из результатов съёмки.

Кроме этого, для комплекса ДИДИКОН осуществлялась регистрация воздушной скорости и угла сноса, для чего была изготовлена дополнительная специальная аппаратура перед началом эксперимента. Для выполнения калибровок каналов этого регистратора оператор с периодичностью около 15 мин определял направление приводного ветра. Такой подход достаточно надёжно и точно позволяет учитывать скорость приводного ветра при окончательной обработке данных и интерпретации полученных результатов.

### 3.3.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО АВИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Для акватории Норвежского моря характерна неустойчивость синоптических процессов, большая вероятность туманов, дымки, низкой облачности и сильных ветров, что отрицательно сказывается на качестве и надёжности результатов авиационных исследований и успешности поиска пелагических рыб, и в первую очередь скумбрии. Поэтому качественное метеорологическое обеспечение и поддержка комплексных авиационных исследований



в Норвежском море являются важной составляющей частью его успешного, надёжного и эффективного проведения.

В связи с этим анализ и контроль за синоптической ситуацией на акватории авиационных исследований начинался ещё в Мурманске до вылета самолёта-лаборатории в Норвегию. Для этого, накануне начала серии полётов Мурманский гидрометцентр (МГЦ) по запросу представлял синоптический прогноз в планируемом районе исследований на ближайшие три дня. Основными параметрами, определявшими принятие решения о начале выполнения серии, являлись:

- нижняя граница облачности (НГО);
- горизонтальная и вертикальная дальности видимости (ГВ и ВВ, соответственно);
- наличие осадков, их вид и интенсивность;
- атмосферные явления (туман, дымка и т.д.) и их интенсивность;
- скорость приземного ветра ( $W$ );
- вид и степень волнения моря (СВМ).

При этом допустимые значения гидрометеорологических параметров, при которых принималось решение о начале комплексных авиационных исследований (серии полётов), были следующими:

- НГО не менее 200 м;
- ГВ и ВВ не менее 1000 и 200 м соответственно;
- любой вид осадков при интенсивности ниже средней;
- при слабых и сильно разорванных туманах и дымке на площадях не более 20 % от всей площади акватории авиационной съёмки;
- $W$  не более 10 м/с;
- зыбь любой балльности и ветровое волнение не более четырёх баллов.

По прибытии в аэропорты временного базирования на побережье Норвегии ежедневно в метеобюро аэропортов, дополнительно к метеорологической информации по обеспечению безопасности полётов, для принятия решения о проведении авиасъёмки в конкретный день, в соответствии с требованиями, изложенными выше, принималась специальная синоптическая информация из Метеоцентра Бергена по акватории Норвежского моря, в состав которой входили:

- карты анализа текущей синоптической ситуации в основные сроки;
- карты прогнозов на 24, 48 и 72 ч с ежесуточным их уточнением;
- спутниковые изображения видимого и ИК-диапазонов ИСЗ серии NOAA (см. рисунок 2.1).

На основе анализа комплекса перечисленной информации принималось решение о целесообразности вылета в запланированный район исследований. В случае, если хотя бы один из гидрометеорологических параметров, о которых говорилось выше, не соответствовал допустимым значениям (превышал их), то вылет в район отменялся, после чего рассматривалась возможность проведения авиасъёмки на другой акватории, представляющей интерес для исследований в рамках Эксперимента. При условии, когда во всех предполагаемых районах авиационных работ метеоусловия были неблагоприятными, съёмка переносилась на следующий день.

Кроме этого, для контроля за сменой ЕСП, что является немаловажным при проведении комплексных авиасъёмок, которые наиболее всего целесообразно осуществлять в пределах одного ЕСП, принимались соответствующие прогнозы (в текстовой форме) из НТФ «Комплексные системы», составленные по методике Савичева (Черноок и др., 1991).

Как правило синоптическая ситуация в центральной части Норвежского моря, где осуществлялись авиисследования может быть неблагоприятной для качественного проведения комплексных авиасъёмок, как показывают климатические данные, не более трёх суток, что и нашло подтверждение при проведении Эксперимента.

Таким образом, несмотря на отдельные, не более трёх суток, перерывы в последовательности проведения комплексных авиасъёмок, что было обусловлено наличием туманов на более

чем 50 % акватории авиационных исследований, их можно считать квазимгновенными для исследования процессов мезомасштабной изменчивости океанографических параметров, которые представляют наибольший интерес для рыболовства. Причём метеоусловия в целом были благоприятными для качественного проведения авиасъёмки:

- слабый ветер, не более 10 м/с и СВМ не более 2-3 баллов;
- облачность не ниже 150 м, хорошая видимость под облачностью, до 10...15 км;
- равномерная освещённость поверхности моря при отсутствии солнечных бликов.

### 3.3.3. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИНЦИПАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, АНАЛИЗА, ИНТЕРПРЕТАЦИИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АВИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одновременно со слежением за синоптической ситуацией производились обобщение и анализ пространственного распределения гидрофизических параметров, и в первую очередь ТПО, за последние 5-6 дней, предшествовавшие началу серии полётов, по данным судовых контактных измерений (глава 4), а также — по картам распределения ТПО, полученным по комплексу спутниковых и судовых данных из гидрометцентров Европы (Бракнелл, Нортвуд, Майн-Флинген/Квикборн). Эта работа выполнялась с целью дальнейшего использования, собранных сведений для «адаптации», «настройки», привязки и корректировки по ним, данных дистанционного авиационного зондирования, полученным в ходе проведения комплексной съёмки.

Такой подход в сочетании с наземными калибровками измерительных комплексов самолёта и натурными корректировками, по данным судна погоды «М» или по контактным измерениям ТПО с рыбопромысловых судов в районе авиасъёмки, позволял повысить абсолютную точность авиационного зондирования и достоверность, восстанавливаемых значений ТПО и полей их пространственного распределения.

Все результаты инструментального авиационного зондирования и визуальных наблюдений поступали в БАС самолёта-лаборатории с временным шагом не менее 2 с. Данные подвергались фильтрации, предварительной обработке и выводились на печать в реальных координатах и времени в виде протокола полёта с заданной дискретностью. Последняя определялась океанологом-интерпретатором и задавалась оператором БАС. При этом на участках фронтальных разделов и большой изменчивости, в первую очередь ТПО, данные в протоколе представлялись с шагом не более 10 с, в других районах, с малой изменчивостью, вывод на печать осуществлялся с шагом не более 20 с, одновременно производилась и запись на магнитный носитель БАС.

На борту самолёта-лаборатории протокол полёта поступал океанологу-интерпретатору для дальнейшей обработки, анализа, интерпретации, обобщения и представления данных в виде карты комплексной авиасъёмки, которая являлась результатом авиационных исследований (см. рисунки 3.11-3.15). Полученные материалы (карты и протоколы) использовались затем для оценки текущей ситуации и принятия прогностических и управленческих решений по развитию промысла скумбрии.

## 3.4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ АВИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе проведения совместных подспутниковых исследований «КА-самолёт-судно» 22.07.1997 и 25.07.1997 на акватории полигонов 60×60 миль с центрами 65°35' с.ш., 3°25' в.д. и 65°35' с.ш., 2°08' в.д., соответственно, были получены массивы данных для корректировки, привязки и интерпретации результатов дистанционного зондирования поверхности с борта КА, в том числе, РЛИ КА ERS-2.

Проведённые оперативные совместные калибровочные работы «КА-самолёт-судно» данных температурного авиационного зондирования при пролёте самолёта над НИС «Академик Борис Петров» (22.07 и 25.07.1997) и над судном погоды «М» (22.07, 25.07 и 27.07.1997), причём в разное время суток, позволили определить абсолютную погрешность восстановленных

значений поля ТПО по результатам дистанционного зондирования морской поверхности с высоты 200 м.

Указанная погрешность, в среднем, не превысила 0,1 °С, что подтверждает надёжность и достоверность, восстановленных по данным дистанционного авиационного зондирования полей ТПО и возможность проведения комплексных авиационных съёмок с целью оценки теплового состояния морских акваторий и исследовании распределения пелагических рыб в исследуемом регионе.

Помимо непосредственного выполнения подспутниковых исследований, 22.07, 25.07, 27.07, 28.07, 29.07 и 30.07.1997 осуществлялись комплексные авиасъёмки на акваториях, указанных в разделе 3.1, с целью информационного обеспечения научно-методической и производственной частей Эксперимента.

На основании сбора, обработки, анализа, интерпретации и обобщения массива данных, полученных при осуществлении авиационных исследований, строились карты результатов комплексных авиасъёмок по каждому полёту (см. рисунки 3.11–3.14) или их серии, если представлялась такая возможность (см. рисунок 3.15), на которых были представлены:

- пространственная структура поля ТПО;
- участки повышенной концентрации первичной биопродуктивности;
- визуально обнаруженные косяки рыбы, в подавляющем большинстве скумбрии;
- крупные, от нескольких десятков и более, скопления птиц;
- морские млекопитающие — киты, дельфины и т.д., являющиеся, так же как и птицы, косвенным признаком наличия пелагических рыб, в данном случае наиболее вероятно скумбрии;
- участки гидродинамических неоднородностей, идентифицируемые по результатам визуальных или инструментальных (с помощью РСА) наблюдений.

Обобщённый системный анализ указанных данных позволил выделить на акваториях авиационных исследований участки, где наиболее вероятны:

- образования промысловых скоплений скумбрии;
- пути массовых нагульных миграций скумбрии;
- накопление и относительно продолжительное, как минимум, в течение одного ЕСП, сохранение промысловых скоплений скумбрии.

Указанные участки, если таковые удавалось определить, оперативно доводились до капитанов рыбопромысловых судов на ежедневных вечерних промысловых советах через начальника промыслового района.

В результате проведённых исследований, анализа, интерпретации и обобщения полученных данных можно с достаточной степенью определённости сделать следующие выводы.

**1.** Температура поверхностного слоя моря на акватории авиационных исследований была несколько выше средней многолетней. ТПО изменялась в пределах 12...12,5 °С (максимум) — в НЭЗ, на востоке ФЭЗ и юго-востоке ОЧНМ, до 8,5...9,0 °С (минимум) — на границе зоны Ян-Майена и ОЧНМ и на участке 70° с.ш. между 3° в.д. и 4° в.д.

Фронтальные разделы в поле ТПО наиболее ярко выражены на участках: 65°00'–65°45' с.ш., 2°–4° в.д. и далее к северу между 4°–4°45' в.д.; 63°30'–63°50' с.ш., 6°–8° з.д.; 65°15'–66°00' с.ш., 2°30'–4°00' з.д.; 67°45'–68°15' с.ш., 2°20'–3°00' в.д.; 67°45'–68°10' с.ш., 0°15' з.д. – 1°00' в.д.; 68°25'–69°00' с.ш., 2°00' з.д. – 0°00'; 68°45'–69°15' с.ш., 0°45'–1°30' в.д.

Наиболее устойчивые локальные мезомасштабные вихри в поле ТПО выявлены с центрами в координатах: 64°00' с.ш., 7°30' з.д.; 65°50', 1° в.д.; 65°30' с.ш., 2°30' в.д.; 66°30' с.ш., 0°45' з.д.; 69°50' с.ш., 2°10' в.д.; 68°35' с.ш., 0°00' — все антициклонические и 65°10' с.ш., 0°30' в.д.; 65°05' с.ш., 1°30' в.д.; 65°30' с.ш., 3°30' з.д.; 68°05' с.ш., 2°30' в.д.; 67°50' с.ш., 0°00'; 68°10' с.ш., 1°30' з.д. — все циклонические.

Интенсивность Восточно-Исландского течения (ВИТ) была ослаблена, а Норвежского — усилена, по сравнению с нормальной климатической ситуацией. Однако стрежень Западной ветви Норвежского течения находился близко к своему среднеголетнему положению.

Указанные обстоятельства, по всей видимости, были обусловлены продолжительным преобладанием над акваторией Норвежского моря ветров южных румбов небольших скоростей и активным солнечным прогревом.

**2.** Участки повышенной первичной биопродуктивности (УППБ) регистрировались преимущественно в районах фронтальных разделов, активного меандрирования и вихреобразования.

**3.** Участки гидродинамических неоднородностей (УГН), идентифицируемых по данным инструментального зондирования (с помощью РЛК РСА) в подавляющем большинстве случаев, достаточно устойчиво и однозначно совпадали с термическими фронтальными разделами, вихрями и меандрами в поле ТПО, что обусловлено особенностями приводной атмосферной циркуляции.

**4.** Исследование зон дивергенции и конвергенции, идентифицируемых по результатам зондирования комплекса ДИДИКОН показало, что при проведении первой подспутниковой авиасъёмки 22.07.1997, а также 29.07.1997 июля была штилевая погода, поэтому обрушения волн полностью отсутствовали. На рисунках 3.2–3.4 представлены карты интенсивности обрушений ветровых волн за 25.07, 27.07 и 28.07.1997, соответственно, в виде изолиний доли поверхности моря покрытой пеной при определённых ветровых условиях, т.е. здесь приведён процент морской поверхности, покрытой пеной, возникающей на гребнях обрушивающихся волн. При этом, при предварительной обработке удалось восстановить поле ветра только для 28.07.1997. Поэтому в остальных случаях для интерпретации данных был использован чисто статистический подход.

Совместный анализ данных о ветре и интенсивности обрушений ветровых волн показал, что данные за 27.07.1997 (см. рисунок 3.3) дают пример поля интенсивности обрушений ветровых волн, где нет аномалий, т.е. неоднородности течений по материалам предварительной обработки не обнаружены. По результатам авиасъёмок 25.07 и 28.07.1997 (см. рисунки 3.2, 3.4) зоны дивергенции и конвергенции могут быть выделены. По информации 25.07.1997 (см. рисунок 3.2) наиболее вероятные участки конвергенции располагались в координатах с центрами  $65^{\circ}30' \text{ с.ш.}$ ,  $3^{\circ}18' \text{ з.д.}$  и  $66^{\circ}00' \text{ с.ш.}$ ,  $2^{\circ}48' \text{ в.д.}$ , непосредственно здесь же или вблизи было отмечено активное вихреобразование в поле ТПО, а участки дивергенции — в координатах с центрами  $66^{\circ}00' \text{ с.ш.}$ ,  $1^{\circ}18' \text{ в.д.}$  и  $65^{\circ}00' \text{ с.ш.}$ ,  $2^{\circ}48' \text{ в.д.}$  По данным от 28.07.1997 (см. рисунок 3.4) наиболее вероятно может быть идентифицирована лишь одна зона конвергенции в координатах центра  $64^{\circ}00' \text{ с.ш.}$ ,  $0^{\circ}00'$ . Информации о структуре ТПО здесь нет, так как произошёл кратковременный сбой в работе ИК- радиометра на этом участке.

**5.** Предварительный анализ, полученных РСА-изображений (см. рисунки 3.9, 3.10), даёт основание считать, что использование радиолокатора с синтезированной апертурой позволяет достаточно надёжно и эффективно регистрировать на поверхности моря участки гидродинамических неоднородностей и суда, независимо от погодных условий, с любой высоты и в любое время суток. Также, с достаточной степенью определённости, РСА может быть использован для обнаружения и идентификация промысловых концентраций скумбрии и, вероятно, других пелагических рыб.

Однако указанные предварительные выводы, особенно последний, требуют дополнительной экспериментальной проверки в морских условиях, причём для различных условий РСА-зондирования (поляризация, направление луча зондирования относительно направления ветра и волнения, предельно допустимые скорости ветра, при которых однозначно возможны обнаружение и идентификация гидродинамических неоднородностей и косяков пелагических рыб).

**6.** Наиболее крупные скопления птиц (свыше сотни) и морские млекопитающие чаще всего регистрировались в районах ярко выраженных и устойчивых гидродинамических неоднородностей (вихри, фронты, меандры, зоны конвергенции и т.д.), а также на УППБ.

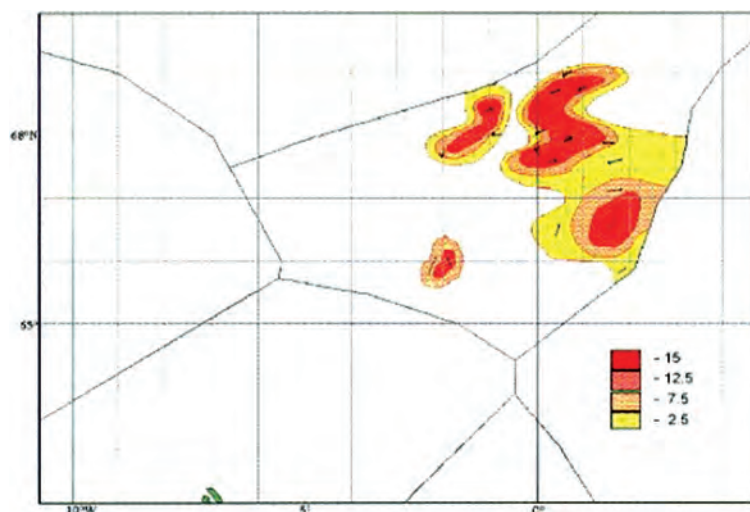
7. Промысловые концентрации рыбы, преимущественно скумбрии, наиболее часто отмечались в районах устойчивых термических фронтальных разделов, вихрей и меандров. Причём здесь в подавляющем большинстве случаев были зарегистрированы УППБ, УГН по данным РСА-зондирования и комплекса ДИДИКОН, крупные скопления птиц и морские млекопитающие. При этом, следует особо отметить, что в период проведения авиаисследований концентрации скумбрии не создавали мощных косяков с большим вертикальным развитием, а распределялись небольшими скоплениями на обширных акваториях авиасъёмки в тонком поверхностном слое толщиной 0...10 м («верховодка») с большими, до 8 узлов, скоростями горизонтального перемещения и активно питалась, что обусловлено особенностями термодинамических условий и распределением кормовой базы. В связи с этим создавались сложности с обнаружением косяков штатными судовыми гидроакустическими системами и их обловом. По данным визуальных наблюдений скопления скумбрии регистрировались в виде колец диаметром от 10...15 до 20 м, подков, полос серебристого цвета и просматривались на удалении от самолёта до 5 км. Кроме этого, к характерным особенностям поведения скумбрии следует отнести тот факт, что при подлёте самолёта к косяку, с приближением шума двигателей, рыба, на короткий промежуток времени, опускалась на небольшую глубину и наблюдалась уже в толще воды в темно-коричневых тонах без изменения формы, спустя некоторое время рыба опять поднималась к поверхности. Особо следует отметить, что на небольшом удалении от самолёта (до 1 км) отчётливо были видны даже отдельные экземпляры рыб на поверхности моря, на большем удалении ясно были видны только контуры косяка в виде ряби на воде.

Таким образом, в рамках комплексных авиационных исследований были получены следующие основные результаты:

1. Было выделено несколько участков наиболее перспективных для промысла скумбрии, где наиболее вероятно её накопление и сохранение устойчивых промысловых концентраций на ближайшее время (до смены ЕСП), после окончания комплексных авиасъёмок. Сюда следует отнести по результатам авиационных исследований (см. рисунок 3.1):

- за 22.07 и 27.07.1997 — акваторию III — от границы НЭЗ до  $1^{\circ}30'$  з.д. в диапазоне  $65^{\circ}00' - 66^{\circ}15'$  с.ш.;
- за 25.07.1997 — акваторию IV —  $65^{\circ}25' - 66^{\circ}15'$  с.ш.,  $5^{\circ}00' - 2^{\circ}00'$  з.д.;
- за 28.07.1997 — акваторию I —  $63^{\circ}30' - 64^{\circ}30'$  с.ш.,  $8^{\circ}00' - 4^{\circ}45'$  з.д.;
- за 29.07 и 30.07.1997 — акваторию II —  $67^{\circ}30' - 69^{\circ}30'$  с.ш.,  $2^{\circ}00'$  з.д. –  $3^{\circ}00'$  в.д.

При этом особо следует отметить, что на указанных участках, за исключением акватории III, промысловые суда на облове скумбрии, до проведения авиационных исследований и в момент их осуществления, не работали.



**Рисунок 3.16.** Распределение плотности скопления скумбрии в ОЧНМ по данным полётов самолёта-лаборатории 29.07.1997. Легенда представлена в косяках на квадратную милю (Шатохин и др., 2002)

2. Было выпущен прогноз, определявший, что, с наибольшей степенью вероятности максимальные концентрации скумбрии будут концентрироваться в НЭЗ, определявший пути массовой миграции её через НЭЗ, определивший участок наиболее массового выхода скумбрии в открытую часть Норвежского моря и местоположения наиболее плотных скоплений скумбрии в ОЧНМ (рисунок 3.16).

Была выделена акватория от границы НЭЗ к востоку до  $3^{\circ}00'$  в.д. между  $65^{\circ}00'$  и  $65^{\circ}40'$  с.ш. С этого участка скумбрия смещалась к северу до  $67^{\circ}30'$  с.ш., и затем на акватории у границы НЭЗ между  $67^{\circ}30'$  и  $68^{\circ}00'$  с.ш. происходил наиболее массовый её выход в ОЧНМ. При этом максимальные по плотности скопления скумбрии в ОЧНМ были зарегистрированы на участке, указанном пунктирной линией на рисунке 3.16. Контроль, перечисленных акваторий в ОЧНМ, рыбопромысловыми судами на облове скумбрии до получения информации не осуществлялся.

3. Анализ промысловой деятельности рыбодобывающих судов Северного и Западного бассейнов на облове скумбрии, за период после окончания авиационных исследований плюс семь дней (в течение одного ЕСП), по данным ежедневных статистических сводок и информации начальника промыслового района на вышеуказанных, рекомендованных для промысла скумбрии участках, дал следующие результаты на судосутки промысла:

- на акватории III — суда «Севрыбы» — 24,2 т, «Запрыбы» — 16,3 т;
- на участке I — суда «Севрыбы» — 28,0 т, «Запрыбы» — 24,8 т;
- на акватории II — суда «Севрыбы» — 15,5 т, «Запрыбы» — 21,4 т;
- на участке IV — суда «Севрыбы» — 26,6 т, «Запрыбы» — не работали.

4. После проведения Эксперимента можно говорить о том, что за счёт использования РЛК РСА эффективность комплексных авиационных исследований в интересах промысловой океанографии и рационального рыболовства может быть повышена минимум в 3-4 раза по сравнению с традиционными (без применения РСА). Подобный показатель может быть достигнут за счёт всепогодности и возможности использования РСА с любой высоты полёта, в том числе на эшелоне, что сокращает расход топлива, увеличивая продолжительность полёта и следовательно протяжённость обследованной акватории, а также широкой полосы обзора, до 20 км, с каждого борта.

## 3.5. ВЫВОДЫ

В ходе проведения совместного комплексного подспутникового эксперимента «КА – самолёт – судно», выполненного на специальных полигонах, получены массивы данных, позволяющие с достаточной степенью надёжности интерпретировать и идентифицировать в интересах промысловой океанографии гидродинамические структуры и неоднородности (фронты, вихри, меандры).

С учётом полученных в рамках проведённого Эксперимента результатов, можно заключить, что задачу радиолокационного мониторинга можно решать с использованием авиационной съёмки, которая позволит выполнить комплексный оперативный авиационный мониторинг любой требуемой акватории в заданный квазимгновенный период. Калибровочные и экспериментальные работы с НИС «Академик Петров» с судном погоды «М» подтвердили надёжность и достоверность дистанционных измерений с борта самолёта-лаборатории и восстановленных на их основе гидрофизических полей.

Осуществление комплексных авиационных исследований с борта среднего самолёта-лаборатории Ан-26 БРЛ, оборудованного дополнительным топливным баком, при временном базировании в аэропортах максимально приближённых к акватории авиасъёмки, позволяет повысить эффективность авиационных работ в 1,5–2 раза за счёт увеличения продолжительности непосредственного проведения съёмок при сокращении непроизводительных перелётов (Забавников, 2006; Чернуок, 2001).

Анализ материалов, полученных в ходе осуществления авиационного зондирования морской поверхности с помощью, впервые установленного и использованного на борту самолёта-лаборатории Ан-26 БРЛ РЛК РСА, позволяют сделать вывод о перспективности и эффективности

его применения при выполнении комплексных авиационных исследований в интересах промысловой океанографии и рационального рыболовства. В первую очередь и главным образом при обнаружении и идентификации гидродинамических неоднородностей (фронты, вихри, меандры) и косяков пелагических рыб, в том числе, скумбрии.

Для повышения качества, надёжности и оперативности комплексных авиационных исследований, выполняемых в интересах научно-прикладных рыбохозяйственных исследований с использованием РСА, необходимо накопление статистических данных по радиолокационному зондированию (РСА-изображения), выполненным при различных параметрах зондирования и ветро-волновых условиях. В связи с этим представляется целесообразным дальнейшее проведение и развитие аналогичных научных исследований в Норвежском море прочих промысловых бассейнах.

Результаты комплексных авиационных исследований Эксперимента, позволяю говорить о необходимости дальнейшего развития концепции использования комплексных дистанционных методов авиационных исследований при оценке структуры гидрофизических параметров и распределения пелагических объектов промысла в целях повышения достоверности выдаваемых промысловых прогнозов.

Указанный подход с привлечением данных судовых тралово-акустических данных значительно повысит эффективность промысла пелагических рыб, в том числе и скумбрии, в Норвежском море и даёт возможность осуществить вероятностную оценку их запасов.

# Глава 4. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 4.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными задачами при проведении океанографических, гидрологических и гидроакустических исследований являлись:

- оперативный мониторинг гидрофизических и гидрохимических параметров водной среды в поверхностном слое на ходу судна;
- выполнение гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических наблюдений до глубины 1000 м, включающий отбор проб для гидрохимических исследований по сетке станций;
- выполнение гидрооптических измерений до глубины 60 м;
- метеорологические наблюдения на станциях;
- выявление градиентных зон и вихрей в поверхностном слое;
- регистрация рыбных скоплений в районе работы судна, идентификация записей на основе информации с промысловых судов;
- проведение эхосъёмок на полигонах гидрологических и гидробиологических работ и в местах возможной концентрации рыбных скоплений с целью построения планшетов (полей) распределения плотности;
- отработка методики и тактики комплексных съёмок для оценки взаимосвязей параметров среды с распределением промысловых скоплений;
- отработка методики и технических средств организации гидроакустической базы данных в рамках комплексной базы данных, поступающих от различных источников;
- сбор, привязка к координатам, подготовка и представление результатов обработки экспериментальных данных.
- оперативный анализ фоновой съёмки с целью оценки динамической структуры исследуемых вод и оптимизации планирования хода эксперимента в реальном масштабе времени.

## 4.2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Распределение и поведение промысловых скоплений рыб зависит от комплекса биотических и абиотических факторов, находящихся между собой в тесной взаимосвязи. На различных стадиях жизненного цикла рыб, в зависимости от ареала обитания тот или иной фактор или группа факторов становятся доминирующими, причём сами факторы могут иметь, как биологическую, так и физико-химическую природу, проявляясь в виде характеристик изменчивости процессов, имеющих различный пространственно-временной масштаб. Поэтому, возможность целенаправленного поиска рыбы, анализа промысловой ситуации и её прогноза определяется наличием информации о разномасштабной структуре вод и её изменчивости.

Для изучения влияния мезомасштабной изменчивости на распределение скоплений скумбрии в исследуемом районе предпочтение отдано тем техническим средствам, которые позволяют проводить измерения параметров водной среды на ходу судна, внося наименьшие искажения в исследуемые процессы.

К их числу относится акустическая аппаратура, выполняющая оценку запасов рыбы, и буксируемая измерительная система, позволяющая осуществлять привязку распределения концентрации рыбных скоплений к структурным особенностям характеристик среды их обитания.



Океанологическая съёмка осуществлялась в соответствии с сеткой станций (см. рисунок 2.6), на которых проводился комплексный сбор гидрофизических, гидрохимических, и гидробиологических данных до глубины 1000 м и гидрооптических до глубины 60 м.

Наблюдения на станциях выполнялись с помощью зондирующего комплекса NeilBrown (фирмы "EG&G Ocean Products", США) (Левашов и др., 1997), позволяющей измерять температуру, электропроводимость, гидростатическое давление, концентрацию растворённого в воде кислорода и флуоресценцию фитопланктона, а также отбирать пробы морской воды для гидрохимических анализов.

Для измерения падающей и восходящей радиации использовался зондирующий спектрометр LI-1800UW (фирмы "Li-Cor", США) (Левашов и др., 1997).

Сбор данных о концентрации хлорофилла, фотосинтетической активности, природной продуктивности фитопланктона, подводной освещённости и температуре осуществлялся в процессе зондирования приповерхностного слоя с помощью опытного образца прибора ПРИМПРОД (разработки специалистов МГУ) (Левашов и др., 1997).

Одновременно с проведением прочих исследований на гидрологических станциях осуществлялся тотальный облов зоопланктона сетью Джеди.

Для получения более полной картины пространственной изменчивости океанологических параметров между станциями и на микрополигонах использовался буксируемый носитель измерительного комплекса AquaShuttle (фирмы "Chelsea Instruments", Англия) (Левашов, 1999), способный на ходу судна двигаться по синусоидальной траектории с периодом от 800 м до 40 км и осуществлять измерения температуры, электропроводимости, давления, флуоресценции, парциального давления кислорода, pH и окислительно-восстановительного потенциала.

С помощью буксируемого комплекса AquaShuttle и судового поверхностного термометра оперативно фиксировались границы фронтальных зон и другие особенности динамики водных масс, для коррекции местоположения океанологических станций.

## 4.2.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА НАБЛЮДЕНИЙ

### 4.2.1.1. Океанологический комплекс NeilBrown

Зондирующий океанологический комплекс NeilBrown состоит из STD/O<sub>2</sub>-зонда Mark-3b (отделения "Neil Brown" фирмы "EG&E Ocean Products", США), основные технические характеристики которого приведены в таблице 4.1, кассеты батометров Rossette (фирмы "General Oceanics", США), оснащённой пятнадцатью 1,7-л и тремя 5-л батометрами типа Go-Flo, и флуориметра (фирмы "Sea Tech", США).

**Таблица 4.1.** Технические характеристики STD-зонда Mark-3b

Параметр	Диапазон	Погрешность	Чувствительность	Стабильность (в месяц)
Давление, дбар	0...3200	3,2	0,05	0,1 %
Температура, °C	-3...+32	0,005	0,0005	0,001
Электропроводимость, мСм/см	1...65	0,005	0,0005	0,003

Подводный спектрометр Li-1800UW предназначен для измерения потока падающей и восходящей лучистой энергии в диапазоне длин волн от 300 до 1100 нм с интервалом 2 нм. Инструментальная погрешность измерения — 5 % (Левашов и др., 1997).

### 4.2.1.2. Зондирующий измеритель первичной продукции

Зондирующий измеритель первичной продукции, концентрации хлорофилла, освещённости и температуры типа ПРИМПРОД разработки МГУ представляет собой

погружной импульсный флуориметр предназначенный для оперативного измерения концентрации хлорофилла, фотосинтетической активности и продуктивности природного фитопланктона (ФП) на различных глубинах исследуемой зоны. Высокая чувствительность прибора позволяет измерять концентрацию ФП при содержании хлорофилла менее 0,03 мкг/л. Прибор снабжён датчиками температуры и глубины. Квантометрический датчик позволяет измерять подводную освещённость в диапазоне 0,03...500 Вт/м<sup>2</sup> (Левашов, 2014).

Прибор состоит из погружаемого аппарата, бортового блока питания и ПК, обеспечивающего программируемые пользователем процедуры сбора и обработки получаемых данных. Регистрирующая часть находится внутри сферического погружаемого зонда и состоит из измерительной ячейки, фотоумножителя, усилителя, аналого-цифрового преобразователя, интерфейса связи с компьютером, двух импульсных ксеноновых ламп с длительностью вспышек 10 мкс в спектральной области 400...480 нм с задаваемым пользователем интервалом между вспышками (Левашов, 2014).

Измерительная ячейка представляет собой проточную камеру, закрытую светозащищающими проточными клапанами, проток через которые осуществляется самотёком в процессе погружения прибора. В нижней части ячейки находится активный конец полупроводникового малоинерционного термодатчика. В центральной части находятся прозрачные окна, за которыми расположены импульсные источники света и фотоумножитель. Вода, поступающая в измерительную ячейку, последовательно освещается каждой лампой с определённым интервалом в зависимости от поставленной задачи и режима работы выбранного пользователем. Одна лампа выполняет функцию «накачки» фотосистемы насыщающим светом, а другая создаёт «слабый» зондирующий измерительный сигнал.

На пути зондирующего луча и света вызванной флуоресценции расположены скрещенные светофильтры так, что возбуждение светом осуществляется в синей части видимой области, а регистрация флуоресценции производится в красной области спектра. Полученные значения величины флуоресценции  $F_0$ , возникающей под действием «слабой» вспышки измерительного света, соответствуют флуоресценции всей массы хлорофилла при открытых реакционных центрах (РЦ) фотосистемы клеток, в составе планктона, проходящих через ячейку.

Для измерения флуоресценции ФП в измерительной ячейке под прямым углом к импульсным источникам света расположен фотоумножитель регистрирующий свет флуоресценции в области более 685 нм. Величина флуоресценции  $F_0$ , вызываемая «слабыми» вспышками зондирующей лампы, пропорциональна концентрации хлорофилла в клетках фитопланктона и может быть прокалибрована в соответствующих единицах.

В приборе был реализован на тот момент технологически новый способ измерения концентрации фитопланктона флуоресцентным методом, позволявший получить сведения о биомассе живого ФП с помощью реализуемого в этом устройстве измерения дополнительного параметра — максимальной флуоресценции  $F_m$ , который служит для определения эффективности фотосинтеза клеток фитопланктона.

Как известно, интенсивность флуоресценции образца воды  $F_0$  может быть представлена как (Левашов, 2014):

$$F_0 = GN \cdot gF_0 \cdot JS,$$

где  $G$  — аппаратурный фактор (геометрия светосбора и чувствительность устройства);  $N$  — концентрация фотосинтетических РЦ в единице объёма;  $gF_0$  — квантовый выход флуоресценции при открытых РЦ;  $J$  — интегральная интенсивность возбуждающего света;  $S$  — размер светособирающей антенны РЦ для данного спектрального распределения.

Если интенсивность возбуждающего света равномерно распределена по спектру, то величина  $S$  равна интегралу спектра поглощения светособирающей антенны (СС), а интенсивность  $F_0$  пропорциональна  $NS$  т.е. суммарной поглощающей способности СС всех РЦ в единице объёма воды. Представленная таким образом  $F_0$  характеризует поглощающую способность популяции фитопланктона и является более адекватным показателем его концентрации, чем концентрация хлорофилла “а”, поскольку, несмотря на то, что флуоресценция излучается преимущественно хлорофиллом “а”, в возбуждении антенных комплексов принимают участие все фотосинтетические пигменты.

Каждое измерение состоит из последовательности трёх вспышек: зондирования, позволяющего измерить поглощающую способность фитопланктона, мощной вспышки накачки, переводящей все реакционные центры фотосистемы клеток в закрытое состояние и, следующей за ней вспышкой зондирования. За время первой вспышки определяется интенсивность флуоресценции хлорофилла —  $F_0$ . В этом случае флуоресценция происходит при обычных условиях, когда большинство РЦ фотосистемы находятся в открытом состоянии. Следующая за ней пара вспышек, позволяет измерить величину, так называемой, переменной флуоресценции. Мощная насыщающая вспышка накачки переводит все РЦ фотосистемы в закрытое состояние, а следующая за ней с интервалом 50 мкс зондирующая вспышка позволяет измерить активность фотосистемы при закрытых РЦ. Полученная величина флуоресценции носит название максимальной флуоресценции  $F_m$ .

Таким образом, в каждом цикле измерений определяются величины  $F_0$  и  $F_m$ .

По величине  $F_0$  с помощью калибровочных коэффициентов определяется концентрация фитопланктона и хлорофилла, а эффективность фотосинтеза микроводорослей (эффективность разделения зарядов в РЦ) определяется как отношение  $(F_m - F_0)/F_m$ . Данные каждого измерения сразу же появляются на дисплее компьютера, как в цифровом виде, так и в виде точки на графике, представляющем концентрацию и активность фитопланктона как функцию времени или глубины погружения зонда.

Использование в зонде датчика подводной освещённости позволяет по величине эффективности использования света  $(F_m - F_0)/F_m$  и освещённости на данном горизонте оценивать фотосинтетическую продукцию.

### 4.2.1.3. Буксируемый комплекс AquaShuttle

Буксируемый комплекс AquaShuttle обеспечивает движение измерителей по синусоидальной траектории до глубины 80 м при использовании одножильного кабеля диаметром 9,1 мм, в диапазоне скоростей от 8 до 20 узлов. При использовании кабеля с обтекателями буксировщик способен достичь глубины 150 м и может эксплуатироваться при скорости хода судна до 25 узлов.

В состав буксируемой системы входят CTD/FL-AQUAPACK (см. таблицу 3.2), предназначенный для измерения температуры, электропроводности, гидростатического давления и флуоресценции (хлорофилла) и гидрохимический блок AQUATRACE (см. таблицу 3.3), предназначенный для измерения температуры, pH, растворённого кислорода и окислительно-восстановительного потенциала.

**Таблица 4.2.** Технические характеристики CTD/FL-AQUAPACK

Параметр	Диапазон	Погрешность	Тип датчика
Температура	-2...+32 °C	0,005	Платиновый термометр сопротивления
Электропроводность	1...55 мСм/см	0,01 мСм/см	Индуктивная ячейка
Глубина	0...200 м	0,2 м	Мостовой тензометрический с температурной компенсацией
Флуоресценция	0,01...100 мкг/л	0,01 мкг/л	Флуориметр

**Таблица 4.3.** Технические характеристики AQUATRACE

Параметр	Диапазон	Погрешность	Тип датчика
Температура	-2...+32 °C	0,1 °C	Платиновый термометр сопротивления
Растворённый кислород	0...20 мкг/мл	0,05 мкг/мл	Полярграфический
pH	2...10	0,05	Двойной (измерительный и стеклянный электрод сравнения)

#### 4.2.1.4. Эхолот Simrad EY-500

В эхометрической съёмке использовался специализированный комплекс аппаратуры, включающий следующие технические средства и программное обеспечение:

- эхолот EY-500 Simrad с буксируемой антенной (Split Beam); частота — 70 кГц;
- ПК Toshiba T2130CT, используемый в качестве блока управления и монитора эхолота;
- внешний НЖМД объёмом 2 Гб со SCSI интерфейсом фирмы Quantum, который использовался в качестве накопителя информации;
- приёмная система навигации GPS, сопряжённая с эхолотом EY-500 и автоматически определяющая координаты судна, которые регистрируются вместе с акустическими данными;
- постпроцессинговая система EP-500 Simrad для обработки данных съёмки.

Комплекс относится к классу научно-исследовательских эхолотов фирмы Simrad (Норвегия). Встроенный интегратор обеспечивает интегрирование эхосигналов независимо по 10 слоям практически в неограниченных пределах. Задачи эхоинтегрирования, донного детектирования и определения силы цели возложены на встроенное программное обеспечение. Особенностью приёмника эхолота является отсутствие цепей временная автоматическая регулировка усиления (ВАРУ), поскольку её функции целиком реализованы программно. Сама же приёмная система спроектирована как измеритель мощности с очень широким динамическим диапазоном, измеряющий входные сигналы с точностью до долей децибел. Такой подход наряду с низким уровнем собственных шумов приёмника обеспечивает корректные измерения параметров всех видов целей: от одиночного планктона до самых плотных рыбных скоплений. К тому же надо отметить отсутствие насыщения у приёмника — также вследствие широкого динамического диапазона.

Комплекс EY-500 Simrad позволяет практически полностью автоматизировать сбор данных в процессе съёмки, обеспечивая запись первичных данных (в виде эхосигналов с выхода эхолота) для их последующего хранения и обработки. Другая важная особенность комплекса — автоматическое определение координат судна с помощью системы GPS, обеспечивающей весьма высокую точность, и регистрация эхосигналов, «привязанных» к точным координатам. Это позволяет строить планшеты распределения измеряемых параметров, локализовать наиболее интересные записи.

Для отображения эхосигналов и цифровой информации в системе EY-500 служат цветной дисплей ПК и цветной принтер. Параметры воспроизведения эхограмм для каждого из них устанавливаются индивидуально, независимо друг от друга.

Методика проведения съёмок эхолотом включала следующие стандартные этапы, необходимые в процессе подготовки и проведения эхосъёмок (Юданов и др., 1984):

- установка аппаратуры на судне, её проверка и апробация;
- калибровка эхолота с использованием стандартного медного шара с эталонной силой цели для данной частоты;
- выбор сетки галсов и параметров съёмки (скорость судна, длина галсов);
- выбор параметров аппаратуры в процессе съёмки, регистрация сигналов;
- обработка данных съёмок, построение планшетов распределения.

Выбор метода обработки сигналов (интегрирование или эхосчёт), принципиально важный для обычных эхометрических комплексов, в данном случае не имеет значения, так как ведётся запись всех сигналов с последующим выбором метода обработки с помощью постпроцессинговой системы. Основная проблема в обычных комплексах — различные законы ВАРУ при интегрировании и эхосчёте, в этой аппаратуре также не принципиальны, — система обработки позволяет обрабатывать одни и те же сигналы разными способами с использованием разных законов ВАРУ.

Во время съёмок антенна буксировалась вдоль правого борта судна на глубине 3...4 м. Исходя из методических рекомендаций эксплуатации буксируемой антенны эхолота и благоприятных погодных условий на полигоне, скорость движения судна равнялась 7 узлам.

## 4.2.2. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### 4.2.2.1. Измерители океанологических параметров воды

Метрологическое обеспечение измерителей основных параметров морской воды: температуры, электропроводимости и гидростатического давления является краеугольным камнем океанологических наблюдений, так как именно эти параметры определяют такие свойства водной среды как солёность, плотность, вертикальную устойчивость, температуру замерзания, скорость распространения звука, показатель преломления света и многие другие.

Метрологическое обеспечение океанологических измерений осуществлялось специализированным аппаратно-программным комплексом, предназначенным для лабораторной калибровки и поверки измерителей температуры, электропроводимости и гидростатического давления водной среды, в соответствии с требованиями измерений «Нового состояния морской воды» (Левашов, 2004) [66] и «Международной Практической Шкалы Солёности» МПШС-1978 (Левашов, 2004), принятых ЮНЕСКО-ИКЕС-СКОР-ИАПСО и рекомендованных для использования с 1980 г.

Калибровочное оборудование комплекса состоит:

- из автоматического температурного моста сопротивлений АТВ-1250 (отделение "Neil Brown" фирмы "EG&G Ocean Products", США);
- платинового термометра сопротивления SRT-162CE (фирмы "Resemount", США);
- адаптера CSA-1250 с 5-электродной ячейкой проводимости типа «Кактус» (отделение "Neil Brown" фирмы "EG&G Ocean Products", США) или солемера типа МК 601 (Австралия);
- термостата с контроллером IEEE 488 (фирмы "Hard Scientific", США);
- образцового сопротивления SR-104 (фирмы "Santific Industris, Inc.", США);
- пяти 30-литровых стеклянных баков с морской водой различной солёности;
- эталонов тройной точки воды и галия (реперных точек «Международной практической шкалы температуры» МПШТ-1991 (Левашов, 2004);
- стандартной (Англия) (Алексеев и др., 1973) или «нормальной морской» воды (Левашов, 2004) (ИОРАН, Россия);
- грузопоршневого монометра модели 58-001J (фирмы "EG&G Chendler Ing. Company", США);
- барометра и комнатного термометра (США);
- бортового терминала 1150 (отделение "Neil Brown" фирмы "EG&G Ocean Products", США).

Технические характеристики образцовых средств измерения приведены в таблице 4.4.

**Таблица 4.4.** Характеристики измерений, обеспечиваемые программно-аппаратным комплексом

Параметр	Диапазон	Точность
Температура, °С	-183...+500	-0,001
Электропроводность, мСм/см	1...100	-0,001
Гидростатическое давление, дбар	0...6000	-0,05 %

Для проведения калибровки каналов температуры используется прецизионный мост АТВ-1250, который вместе со стандартным платиновым термометром сопротивления 162CE и переносным эталонным резистором SR-104 составляют образцовое средство измерения температуры. Поддержание стабильности температуры во всём её диапазоне изменения океанской воды с погрешностью не хуже 0,0001 °С обеспечивается автоматическим термостатом модели 5003 (фирмы "Hart Scientific", США), уникальной особенностью которого является наличие единого полого кольца, служащего для охлаждения и нагревания воды, и, помогающего свести все возможные температурные отклонения к минимуму.

Электронный автоматический термометрический мост АТВ-1250 являлся образцовым средством измерения сопротивлений повышенной точности (рабочим эталоном). Он представляет собой мост, работающий на переменном токе, с микропроцессорным управлением для

измерения сопротивлений стандартных платиновых термометров в диапазоне 0...125 Ом. Процесс измерения проводится полностью автоматически с дискретностью 0,625 или 1,25 с. Управление процессом измерения осуществляется с помощью клавиатуры, блока управления или персонального компьютера.

Связь моста с компьютером осуществляется с помощью стандартных интерфейсов RS232C или IEEE-488. Краткая техническая характеристика моста АТВ-1250 в комплекте с платиновым термометром представлена в таблице 4.5.

**Таблица 4.5.** Техническая характеристика термометрического моста АТВ-1250 с платиновым термометром 162СЕ

Диапазон измерения, °С	от -183 до +500
Погрешность измерения (среднеквадратичное отклонение), °С	0,0005
Разрешающая способность, °С	0,00001
Сопротивление чувствительного элемента при температуре тройной точки воды, Ом	25,55
Линейность характеристики преобразования, °С	0,0003
Крутизна характеристики, Ом/°С	0,1

Поверка точностных характеристик моста АТВ-1250 осуществлялась с помощью эталонного резистора SR-104, имеющего номинальное сопротивление 10 кОм. Эталон-резистор помещён в герметически уплотнённую тепловую массу вместе с резистивным термометром того же номинального значения сопротивления, что и эталон-резистор. Весь узел защищён от изменения температуры окружающей среды с помощью теплоизоляционного материала из пенопласта. Резистивный термометр служит для осуществления температурной коррекции показаний эталонного резистора. Краткая техническая характеристика эталонного резистора SR-104 представлена в таблице 4.6.

**Таблица 4.6.** Техническая характеристика эталон-резистора SR-104

Стабильность, Ом/год в первые два года	+10E-6
в последующие годы	±0,5·10E-6
Температурный коэффициент при температуре 23 °С, Ом/°С	10E-7
Скорость изменения температурного коэффициента (в диапазоне от 18 до 28 °С), Ом/°С	3·10E-3

Для периодической поверки образцовых средств измерения температуры используются две реперные точки МПШТ-1991, два воспроизводимых в лаборатории физических условия — тройная точка воды (+0,01 °С, "Jarrett Instrument Co.", США) и тройная точка галия модели 17402 (+29.7715 С, "Yellow Springs Instrument Co.", США) (Левашов, 2004).

В качестве образцового средства измерения электрической проводимости водной среды применяются адаптер электропроводимости/солёности модели CSA-1250 с пятиэлектродной кондуктометрической ячейкой типа «Кактус», используемые совместно с автоматическим мостом АТВ-1250 и платиновым термометром 162СЕ.

Образцовая кондуктометрическая ячейка представляет собой пятиэлектродный элемент (датчик), позволяющий производить измерения электропроводимости морской воды (электролитов) в диапазоне 0...10 См/м (0...100 мСм/см) в двух режимах: в режиме сифона и проточной струи. Первый режим используется для калибровки ячейки. Второй — для проведения прямых измерений совместно с поверяемыми приборами.

На двух крайних экранирующих электродах ячейки, расположенных на концах проточной кварцевой трубки, имеющих коэффициент температурного расширения  $K = 1$ , специальной электрической схемой поддерживается одинаковый потенциал. Это обеспечивает создание вокруг проходящего канала высокого сопротивления. Электрическая схема работает таким образом, что между его токовыми электродами протекает ток, обеспечивающий создание

потенциала равного по величине и противоположного по направлению эталонному напряжению, создаваемому в цепи отрицательной обратной связи. Выходное напряжение усилителя тока, протекающего через морскую воду и снимаемое с прецизионного термостатированного резистора прямо пропорционально проводимости исследуемой пробы морской воды.

Передача значения электропроводимости эталонного раствора хлористого калия осуществляется через стандартную морскую воду («нормальную воду»), в соответствии с методикой определения практической солёности МПШС-1978 (Левашов, 2004), пятиэлектродной кондуктометрической ячейке и адаптеру CSA-1250. Для этого образцовая ячейка, заполненная водой (водой Вуормли (Левашов, 2004)) или «нормальной водой», помещается в термостат, в котором путём изменения температуры (в фиксированных точках 0,5...30 °С) создаётся равномерная шкала электропроводимости. Стабильность поддержания температуры в фиксированных точках не хуже 0,0005 °С.

Используемый способ калибровки образцовой ячейки обеспечивает погрешность не хуже –0,001 ‰ в эквиваленте солёности.

Для калибровки и поверки измерителей гидростатического давления используется манометр модель 58-001J имеющий класс точности 0,02 для диапазона изменения давления от 0 до 6000 дбар.

Программные средства позволяют производить в автоматическом режиме калибровку самих образцовых средств измерений (АТВ-1250, пресс-манометра и т.д.), вводить информацию об дестабилизирующих процесс поверки параметрах окружающей среды (температуре и барометрическом давлении).

Программно-математические средства обеспечивают автоматическое управление ходом калибровки, сбор и обработку полученной информации, расчёт полиномиальных коэффициентов и документирование результатов. При этом для каждого измерительного канала существует возможность выбора (установки):

- количество точек измерения;
- количество усреднённых отсчётов для каждой точки измерения;
- величину допуска для каждого типа измерения;
- процент полного отсчёта шкалы, требующийся для температуры и давления в автоматическом режиме;
- допустимое стандартное отклонение и смещение.

В результате калибровки производится вычисление коэффициентов полинома второго, третьего или четвёртого порядка, которые записываются в автоматически формируемый приборный файл.

В дальнейшем, этот файл используется для пересчёта кодовых значений измеряемых параметров в значения физических величин.

Таким способом осуществлялась предрейсовая поверка STD-каналов зонда Mark-3b, модулей STD/FL-AQUAPACK, температурного канала блока AQUATRACE и температурного компенсационного датчика измерителя растворённого в воде кислорода зонда Mark-3b.

Калибровка коэффициентов уравнения температурной компенсации датчика давления зонда Mark-3b осуществлялась следующим образом: после проведения поверки канала гидростатического давления датчик помещался в снег на время, пока его корпус не охладится до 0° С. Затем, процедура калибровки с помощью грузопоршневого манометра повторялась. Коэффициенты компенсационного полинома рассчитывались программно и автоматически записывались в калибровочном файле.

#### 4.2.2.2. Спектрорадиометр Li-1800UW

Для поверки подводного спектрорадиометра Li-1800UW использовался калибратор оптического излучения 1800-02 (фирмы "Li-Cor", США).

Калибратор предназначен для поверки спектральных измерителей освещённости в диапазоне длин волн от 300 до 1100 нм с дискретностью измерения 1 нм. Поверка осуществляется путём сравнения с калиброванным излучением в выходном зрачке калибратора 1800-02. В качестве калибровочной лампы использовалась кварцевая галогенная лампа мощностью 200 Вт с вольфрамовой нитью и цветовой температуре приблизительно 3150 К. Патрон для лампы разработан специально для быстрой смены лампы без сложной оптической регулировки. Гнёзда с последующими диафрагмами служат оптическим стендом для установки лампы, а также уменьшают случайные блики с внутренней поверхности калибратора. Хорошая регулировка тока и напряжения питания постоянной мощности приводит к увеличению стабильности лампы, поскольку выход излучения лампы остаётся неизменным. При включении лампа медленно нагревается, чтобы избежать перегорания нити накала, индикатор готовности показывает, когда эталонная мера 1800-02 работает при нормальных условиях.

Электроток в лампе может измеряться посредством точно откалиброванного шунта (точность до 0,1 %) внешними компенсаторами на пульте управления. Датчик спектрорадиометра калибруется в воздухе, при этом в память прибора записывается калибровочный файл. Когда датчик, откалиброванный в воздухе, используется под водой, то следует делать коррекцию из-за различия в индексе преломления (рефракции) воздуха в отличие от рефракции воды в поверхности раздела коллектора. Это явление обычно называется эффектом погружения или иммерсионным эффектом. Коррекция обеспечивается благодаря использованию файла коррекции эффекта погружения, который размещается в памяти LI-1800UW при поверке на заводе-производителе.

#### 4.2.2.3. Морская калибровка океанологических измерителей кислорода и флуоресценции

Перед началом проведения заборных работ осуществлялась установка «нуля» тока датчиков растворённого кислорода. Для этого датчики кислорода помещались в перенасыщенный раствор сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). Датчики выдерживались до достижения ими минимального установившегося значения кода тока, которому присваивалось нулевое значение кислорода. Установившееся значение кода записывалось в калибровочном файле. Затем датчик кислорода блока AQUATRACE помещался в ванночку с насыщенным 100 % содержанием растворённого кислорода дистиллированной водой при температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении. Установившееся значение кода заносилось в калибровочный файл.

В процессе проведения зондирований на океанологических станциях комплексом NeilBrown на выбранных горизонтах осуществлялся отбор проб для определения содержания на горизонте растворённого в воде кислорода и хлорофилла "а". Пробы отбирались из слоёв с квазигомогенным содержанием кислорода и квазистабильными значениями температуры, солёности и флуоресценции.

Из отобранных проб содержание растворённого в воде кислорода определялось методом Винклера (Левашов, 2004).

Концентрация хлорофилла "а" определялась стандартным спектрофотометрическим методом измерения оптической плотности ацетоновых экстрактов, полученных после фильтрации отобранных проб воды.

#### 4.2.2.4. Расчёт калибровочных коэффициентов канала растворённого кислорода зонда Mark-3b

Определение растворённого в воде кислорода осуществляется по формуле:

$$\text{Oxygen (мл/л)} = \text{OXY (\%SAT)} \cdot \text{OXY (SAT)},$$

где  $\text{OXY (\%SAT)}$  — процентное содержание растворённого в воде кислорода;  $\text{OXY (SAT)}$  — функция, отражающая влияние температуры и солёности на растворимость кислорода в морской воде и позволяющая пересчитывать значения процентного содержания растворённого кислорода (в  $\text{мкг/л}$ );



$$OXY (\%SAT) = (C \cdot Oxl + D \cdot Oxl + E) \cdot \exp(TO \cdot CT + PR \cdot CP),$$

где  $Oxl$  — измеряемое кодовое значение тока датчика;  $C$ ,  $D$  и  $E$  — искомые калибровочные коэффициенты, связывающие расчётное (образцовое) значение тока с кодовыми значениями датчика;

$$TO = \frac{CTD \cdot TEMP + OXY \cdot TEMP}{2};$$

$CTD TEMP$  — показания температуры платинового датчика STD-зонда, °C;  $OXY TEMP$  — показания температуры термометра кислородного датчика, °C;  $PR$  — давление, дбар;  $CT = -0,046$  — температурная постоянная времени кислородного датчика;  $CP = 0,000115$  — постоянная времени, учитывающая влияние давления;

$$OXY(SAT) = \exp \left\{ A_1 + \frac{A_2}{TT} + A_3 \cdot \ln TT + SAL [B_1 + B_2 TT + B_3 TT] \right\},$$

где  $A_1 = -173,4292$ ;  $A_2 = 249,6339$ ;  $A_3 = 143,3483$ ;  $A_4 = -21,8492$ ;  $B_1 = -0,033094$ ;  $B_2 = 0,014259$ ;  $B_3 = -0,001700$ ;

$$TT = \frac{CTD \cdot TEMP (^\circ C) + 273,16}{100};$$

$SAL$  — солёность пробы морской воды.

#### 4.2.3. ТАКТИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

С помощью системы NeilBrown на станциях осуществлялось зондирование 1000-метрового слоя воды. При подъёме зонда проводился отбор проб морской воды батометрами для гидрохимических исследований. Зондирования выполнялись со скоростью 0,5...0,6 м/с. Пробы в основном отбирались со следующих горизонтов: 1000 м — глубинная водная масса, 500 м — атлантическая водная масса; 350 м — смешенные воды; 80...150 м — ядро атлантических водных масс, точки экстремума графика распределения кислорода и флуоресценции верхнего 100-метрового слоя вод.

Для проведения оптических измерений два спектральных радиометра Li-1800UW скреплялись таким образом, чтобы датчики могли одновременно измерять восходящее и нисходящее излучение. Измерения проводились над поверхностью моря и на горизонтах 2, 10, 20, 30, 40, 50 и 60 м. В силу полученной конструкции датчики разнесены друг от друга на расстояние 60 см по вертикали на каждом горизонте проводилось два измерения, сдвинутые по глубине на это расстояние. Измерения спектральной радиации проводились в диапазоне от 300 до 850 нм.

Для снижения эффекта морских волн над поверхностью и горизонте 2 м проводилось 10-кратное измерение спектра радиации. В результате в память прибора записывался осреднённый по 10 сканированиям спектр. Для учёта влияния изменения освещённости в процессе зондирования измерения радиации над поверхностью моря выполнялась дважды в начале и конце наблюдения.

Комплекс AquaShuttle является частью интегрированной буксируемой подводной системы, включающей в своём составе судно-буксировщик, оборудованное кабельной лебёдкой с кабель-тросом диаметром 9,1 мм; буксируемое подводное тело AquaShuttle с рулём глубины и сервомеханизмом управления им; измерительные модули CTD/FL-AQUAPACK и AQUATFACE и модем передачи данных по каналу связи, смонтированные в корпусе буксируемого тела; бортовой терминал и ПК с программным обеспечением.

Система позволяет производить измерение параметров среды с дискретностью от 3000 отсчётов в минуту до 1-го в сутки при движении буксируемого аппарата по синусоиде с амплитудой от 3 до 80 м и скорости движения судна от 8 до 20 узлов.

Конструкция аппарата и программное обеспечение позволяют осуществлять управление траекторией движения буксируемого тела. Электропитание сервомеханизма, изменяющего

положение крыла, осуществляется с помощью генератора, превращающего вращательное движение винта в электрический ток.

Запись и передача измерительной информации может осуществляться в двух режимах: прямой непрерывной передачи на борт судна в реальном масштабе времени, и записи во внутреннюю память буксируемого аппарата, ёмкостью 2 МБт. Последний режим использовался в нашем случае для отработки управления движением аппарата по наиболее приемлемой траектории.

Поскольку суда, на которых предполагается проводить исследования с помощью буксируемого аппарата, редко имеют скорость более 12 узлов, методика работы с аппаратом отработывалась на скоростях от 6 до 12 узлов.

Управление траекторией движения буксировщика при скоростях от 6 до 7,5 узлов имеет принципиальное значение, так как использование буксируемой акустической аппаратуры ограничено этим диапазоном скоростей судна. Вместе с тем, проведение буксировки при этих скоростях накладывает определённые ограничения на способ получения измерительной информации, связанные с конструктивными особенностями аппаратуры. Было установлено, что при этих скоростях буксировки исключается возможность использования режима прямого приёма информации, так как скорость винта (ротора генератора) не обеспечивает необходимый уровень питания механизма управления. Проведение измерений возможно только во внутреннюю память в режиме постоянного контроля с борта судна за траекторией движения буксируемого носителя. Таким способом удалось сохранить управление аппаратом при снижении скорости хода судна до 6 узлов.

Для привязки информации, получаемой с буксируемого измерителя к координатам судна, была осуществлена синхронизация работы судовой GPS-системы и таймера буксируемого измерителя (каждому измерению соответствует своё время с точностью до 1 с). После завершения измерений файл с океанологической информацией «сшивался» с файлом от GPS-системы по критерию общего времени, таким образом каждому измерению соответствовали строго определённые географические координаты. Далее файлы данных подвергались фильтрации с целью уменьшения динамических погрешностей измерений, связанных с высокой скоростью движения измерителя 4...7 м/с и измерениями в слое с высокой изменчивостью.

Кроме того, необходимо было провести ряд экспериментов, направленных на определение основных параметров движения комплекса AquaShuttle, в зависимости от длины кабеля и скорости судна (таблица 4.7). В результате проведённых исследований удалось скорректировать конфигурационные файлы программного обеспечения таким образом, чтобы траектория движения буксируемого комплекса максимально приблизилась к синусоидальной. Также были выявлены ряд эксплуатационных замечаний, которые необходимо учитывать при проведении будущих исследований.

**Таблица 4.7.** Характеристики движения комплекса AquaShuttle

$L$ троса, м	$V$ судна, узлы	$H_{\min}$ , М	$H_{\max}$ , М	Амплитуда, м
200	9	6	50	44
300	9	13,6	61,3	47,6
400	9	26,2	74	47,8
500	9	36,2	85	48,8
200	11	5	45,1	40,1
300	11	8,5	53,5	45
400	11	18	62,5	44,5
500	11	28,8	74	45,2
200	12	–	–	41,6
300	12	–	48,7	–
400	12	11,5	54,2	42,7
500	12	18,9	64,7	45,8

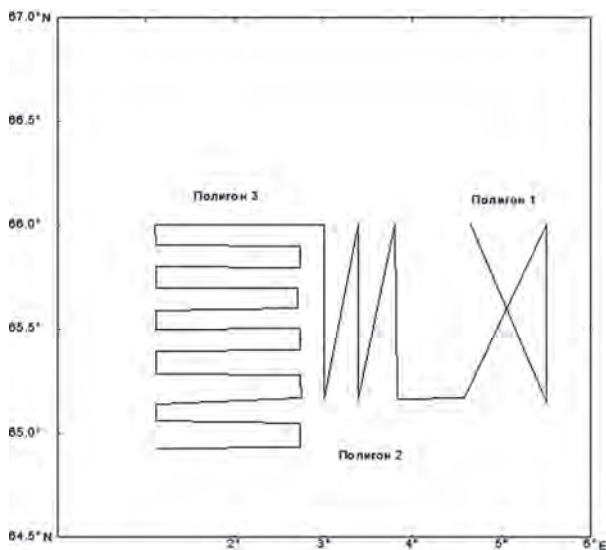
При работе с комплексом AquaShuttle выявился дефект сварки фиксатора кабель-троса на буксировочной уздечке, что чуть не привело к потере аппарата. Этот узел нуждается в доработке, хотя сама идея крепления кабель-троса к аппарату удачная. После 10 дней непрерывной буксировки аппарата обнаружилось частичное разрушение обеих стальных оплётки кабель-троса перед страховочным зажимом. По-видимому, это явилось результатом резких срывов аппарата на верхней трети склонов подъёма и спуска синусоиды и неудачном выборе страховочного зажима. Тем не менее необходимо регулярно (не менее одного раза в 5 дней) проверять состояние кабель-троса и его крепления к уздечке.

### 4.3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На первом этапе экспедиции (с 06.07 по 14.07.1997) проводилась фоновая съёмка открытой части Норвежского моря (рисунок 2.6) на полигоне, ограниченном с запада  $5^{\circ}$  з.д., с севера  $70^{\circ}$  с.ш., с востока границей НЭЗ. Было выполнено 8 галсов непрерывного зондирования слоя 10...80 м с помощью буксируемого комплекса AquaShuttle, регистрирующего изменения температуры, солёности, содержания кислорода и флюоресценции (концентрации хлорофилла). Для более детального изучения гидрофизических характеристик водных масс, насыщения кислородом и стратификации хлорофилла производились глубоководные (до 1000 м) гидрологические станции с отбором биогидрохимических проб на характерных горизонтах. Всего на полигоне выполнено 27 станций (Романов, Сапожников, 1998; Романов, 1998) [24, 25].

По результатам фоновых полигонных наблюдений выбран район для проведения микрополигона, расположенный в районе промысла скумбрии и пересекающий перпендикулярно стрежень Западной ветви Норвежского течения и участок фронтальной зоны на границе ОЧНМ и НЭЗ между  $64^{\circ}40'$  и  $67^{\circ}40'$  с.ш. На микрополигоне выполнено 11 галсов непрерывного зондирования (см. рисунок 2.6) и 13 глубоководных станций. После завершения работ на микрополигоне 17.07.1997 выполнялись галсы акустической съёмки в районе промысла скумбрии и в пределах НЭЗ в районах, запретных для отечественного промысла.

Параллельно продолжалась работа на подспутниковых полигонах (рисунок 4.1) зондирование верхней толщи воды комплексом AquaShuttle и фиксирование температуры поверхностного слоя моря.



**Рисунок 4.1.** Схема подспутниковых полигонов НИС «Академик Борис Петров»

НИС «Академик Борис Петров» 21.07.1997 легло в дрейф для проведения суточной станции, необходимой для исследований первичной продукции. В этот период несколько раз

выполнялись глубоководные гидрологические станции зондом NeilBrown с системой Rosette для отбора биохимических проб. После суточной станции непрерывное зондирование верхнего 70-метрового слоя на подспутниковых полигонах было продолжено до окончания начальной части рейса 25.07.1997.

### 4.3.1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПЕРИОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Климат Норвежского моря формируется в результате взаимодействия трёх центров барических образований: Исландского минимума (области пониженного давления) и двух максимумов (областей повышенного давления): Азорского и Полярного, расположенного над Гренландией. В летний период с ослаблением Исландского минимума и усилением Азорского максимума образуется западный перенос воздушных масс в район Норвежского моря. Основные пути движения циклонов проходят через Исландию в северо-восточном направлении в Баренцево море. По многолетним данным число циклонических образований в течение июля невелико и составляет от 3 до 4. Преимущественно наблюдается антициклонический тип погоды. Температурный режим в течение летних месяцев изменяется незначительно и обычно формируется под влиянием радиационного прогрева и теплоотдачи подстилающей поверхности — тёплых вод Норвежского течения.

Метеорологическая обстановка в период рейса не препятствовала проведению работ. Преобладал антициклонический тип погоды. Атмосферное давление практически не опускалось ниже 1015 мбар. Температура воздуха имела достаточно ровный суточный ход с амплитудой в дневные и ночные часы до 2 °С и изменялась в среднем от 7,3 °С на севере района работ (12.07.1997) до 13,5 °С в юго-восточной части ОЧНМ (18.07.1997). Ветровой режим характеризовался слабыми ветрами (со скоростью меньше 10...12 м/с) преимущественно юго-западных румбов. Лишь в конце рейса (25.07–26.07.1997.) при прохождении атмосферного фронта наблюдалось усиление ветра до штормовых значений. В целом повторяемость штилевой погоды составила 17 %. Высота ветровых волн была не выше 1 м. На ветровую составляющую периодически накладывались волны зыби также юго-западного направления высотой 1...1,5 м. Повторяемость пасмурного неба (8...10 баллов) в районе работ составляла 70...80 %, преобладали слоистые формы облаков. Было отмечено около семи дней с туманом.

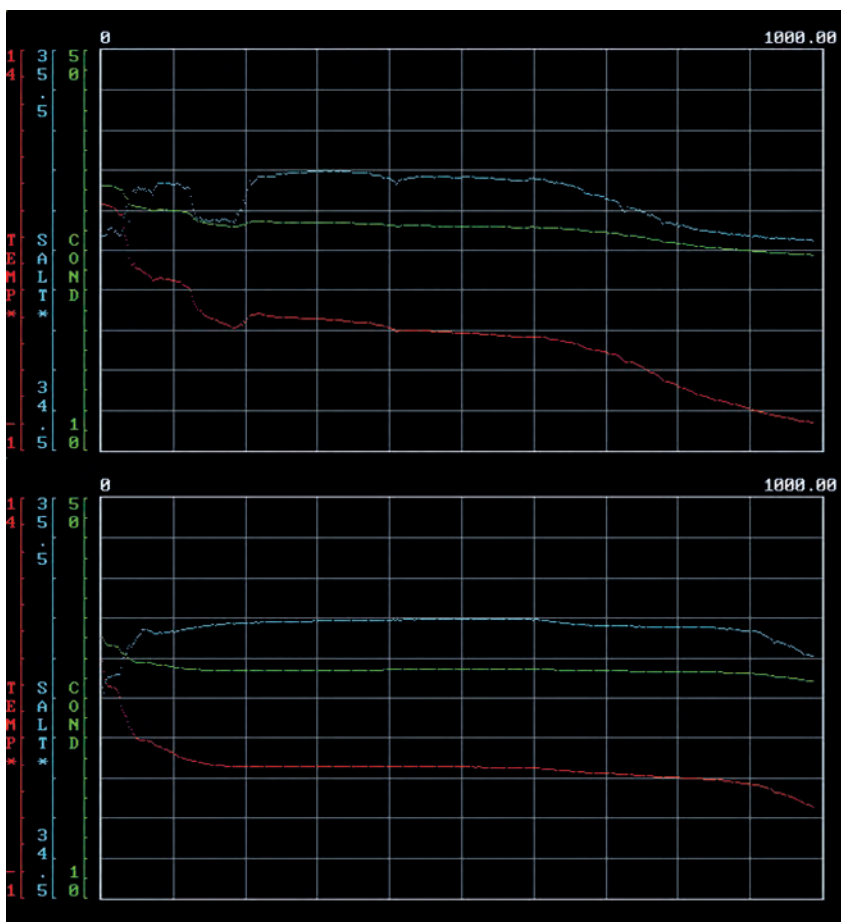
### 4.3.2. ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПЕРИОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Гидрологический режим Норвежского моря формируется под воздействием сложной системы постоянных течений, топографией дна и влияния общей циркуляции атмосферы. Основное значение в формировании гидрологического режима центральной части моря имеет взаимодействие тёплых вод Норвежского течения (являющимся продолжением системы Гольфстрим — Северо-Атлантическое течение) с холодными водными массами Восточно-Исландского течения, поступающих в Норвежское море через пролив между овами Ян-Майен и Исландией. Характерной особенностью вод южной и центральной частей бассейна является относительно высокая для этих широт температура и солёность (более 35 ‰) воды в течение всего года.

### 4.3.3. ВОДНЫЕ МАССЫ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ НА ПЕРИОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Структура вод Норвежского моря формируется двумя основными водными массами: атлантической, арктической и их модификациями. В районе работ судна было выделено четыре водных массы: поверхностная, атлантическая, смешанная и глубинная.

Основной водной массой, «формирующей режим» исследуемой акватории является атлантическая водная масса с солёностью 35,05...35,25 ‰ и температурой меняющейся в диапазоне от 2 до 12° С в зависимости от глубины и широты. Эта водная масса располагается в слое от поверхности до глубин 200...300 м на юге и в центральной части района. При своём продвижении на север толщина слоя атлантических вод увеличивалась до 700...1000 м. Так, на широте 70° с. ш. (станция 21) глубина залегания изотермы 2 °С превышала 1000 м, в то время как на соседних станциях, расположенных на периферии потока указанная изотерма располагалась не глубже 750...800 м (рисунок 4.2).



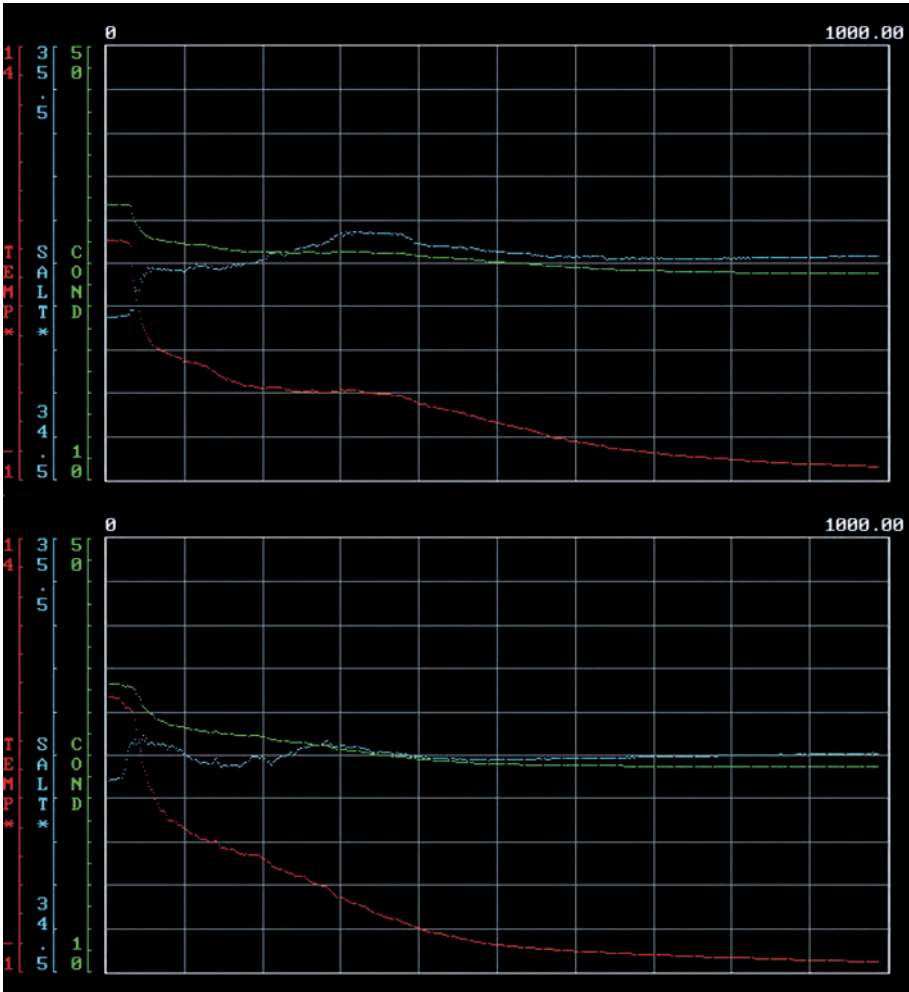
**Рисунок 4.2.** Результаты измерений вертикальных профилей температуры (красная), солёности (голубой) и проводимости (зелёный) на станциях 20 (вверху) и 21 (внизу)

Ядро атлантической водной массы (Алексеев и др., 1973) на большей части акватории залегает на глубине 60...150 м и имеет солёность 35,20...35,25 ‰. По мере продвижения на север и увеличения толщины слоя залегания вод их солёность незначительно уменьшается до значений в ядре 35,10...35,15 ‰.

В юго-западной части района от поверхности до границ глубинной водной массы толщу занимают смешанные воды, образующиеся в результате смешения атлантической и арктической воды в области влияния Восточно-Исландского течения. Эти воды имеют солёность 34,85...34,98 ‰ и среднюю температуру от 7,2 до 3,5 °С (станции 4 и 8, рисунок 4.3).

Далее к северу и востоку смешанные воды вытесняются в более глубокие слои высокосолёными атлантическими водами и проявляются в центральной и восточной частях ОЧНМ лишь в виде языка относительно распреснённой и холодной воды в слое 300...400 м и прослеживаются вдоль изопикны 27,8...28,0 кг/м<sup>3</sup> (приложение 2).

В областях крупных квазистационарных циклонических круговоротов, в частности на крайнем юге открытой части моря, эта смешанная вода в виде купола холодных вод вновь поднимается до верхнего 50-метрового слоя (станция 3, см. рисунок 2.6). В верхнем 20...50-метровом слое смешанных вод прослеживается поверхностная ещё более пресная водная масса, восточно-исландского происхождения, модифицированная и подвергшаяся радиационному прогреву (станция 4, см. рисунок 4.3). Между ней и нижележащими смешанными водами существует незначительный пикноклин и градиентом солёности порядка 0,003 ‰/м и температуры около 0,05 град/м.

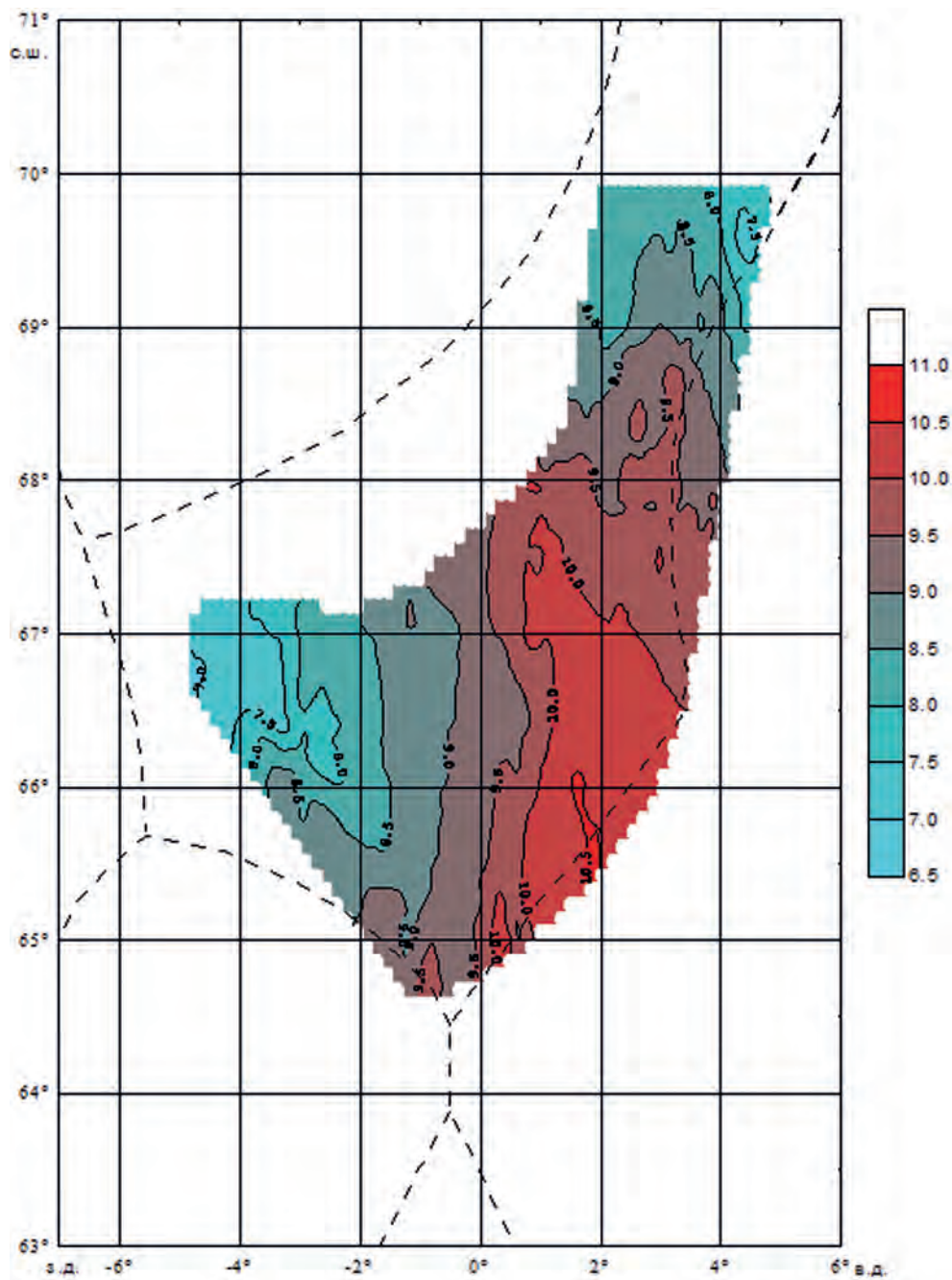


**Рисунок 4.3.** Результаты измерений вертикальных профилей температуры (красная), солёности (голубой) и проводимости (зелёный) на станциях 4 (вверху) и 8 (внизу)

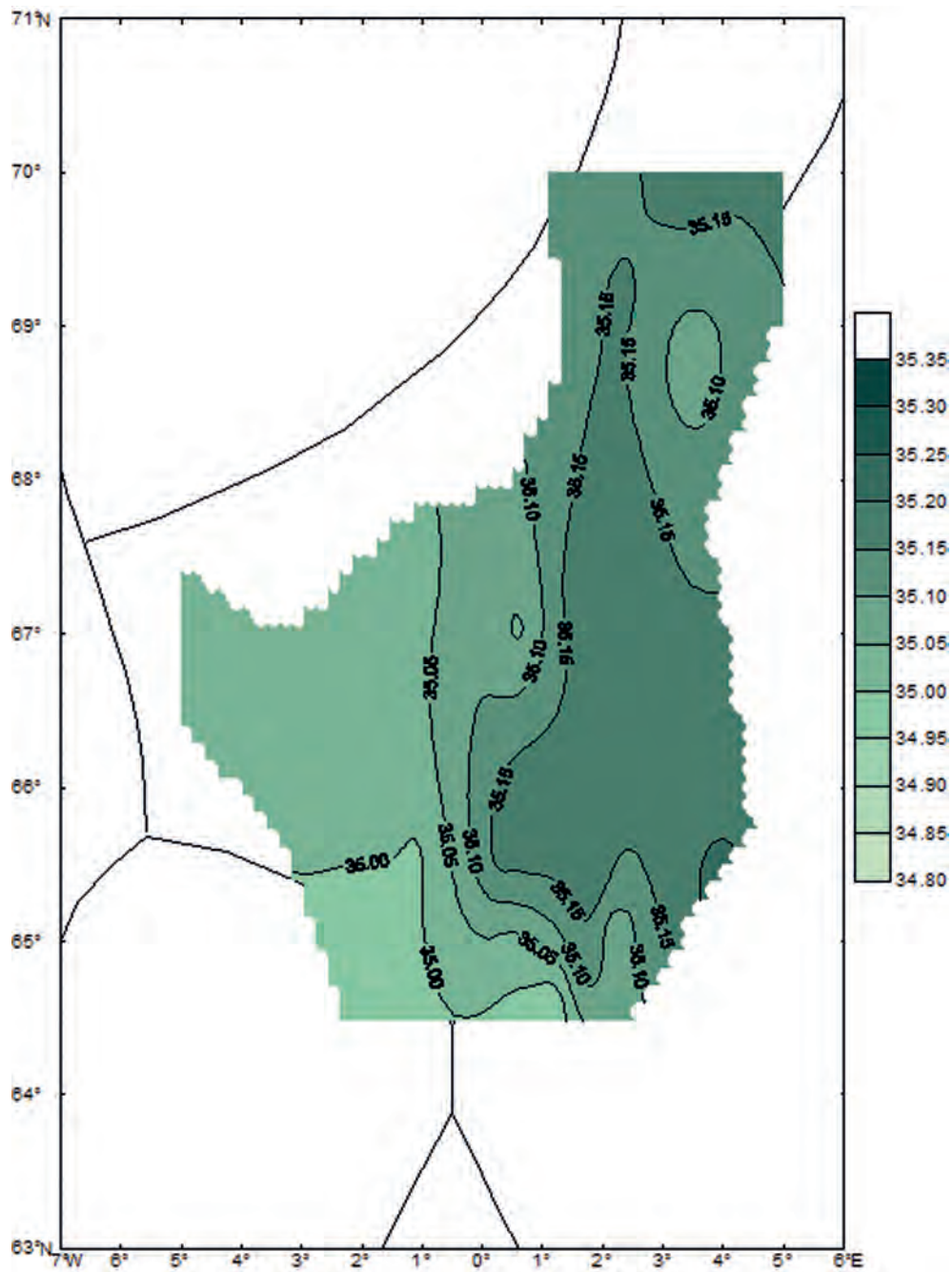
В целом к поверхностным водам условно можно отнести атлантические и смешанные воды подверженные влиянию прогрева и небольшого распреснения дождевого или иного происхождения, подверженные волновому перемешиванию и отделённые от основных вод пикноклином.

В поверхностном слое воды (до глубин 50 м) на юго-востоке ОЧНМ и в НЭЗ выделяется распреснённая поверхностная водная масса, формирующаяся в районе Норвежского мелководья под влиянием относительно пресного Прибрежного течения и берегового стока и характеризующаяся относительно низкой (<34,8 ‰) солёностью и высокой (от 10,8 до 13,2 °С) температурой в результате радиационного прогрева (рисунки 4.4–4.9). Между поверхностными и атлантическими водами отмечен мощный хало- и термоклин толщиной от 20 до 50 м, вертикальные градиенты солёности и температуры в котором соответственно составляют около 0,005 ‰/м и больше 0,1 град/м.

На глубине свыше 500...600 м практически всю акваторию ОЧНМ занимает глубинная вода Норвежского моря с солёностью около 35 ‰ и постепенным понижением температуры с глубиной от 2...3 °С на верхней границе до отрицательных значений глубже 800 м. Только в области квазистационарного циклонического круговорота на крайнем юге ОЧНМ глубинные воды поднимаются до 200...300 м, приподнимая и прижимая к поверхности смешанные воды, вытесняя атлантическую воду (рисунок 4.10 и 4.11).

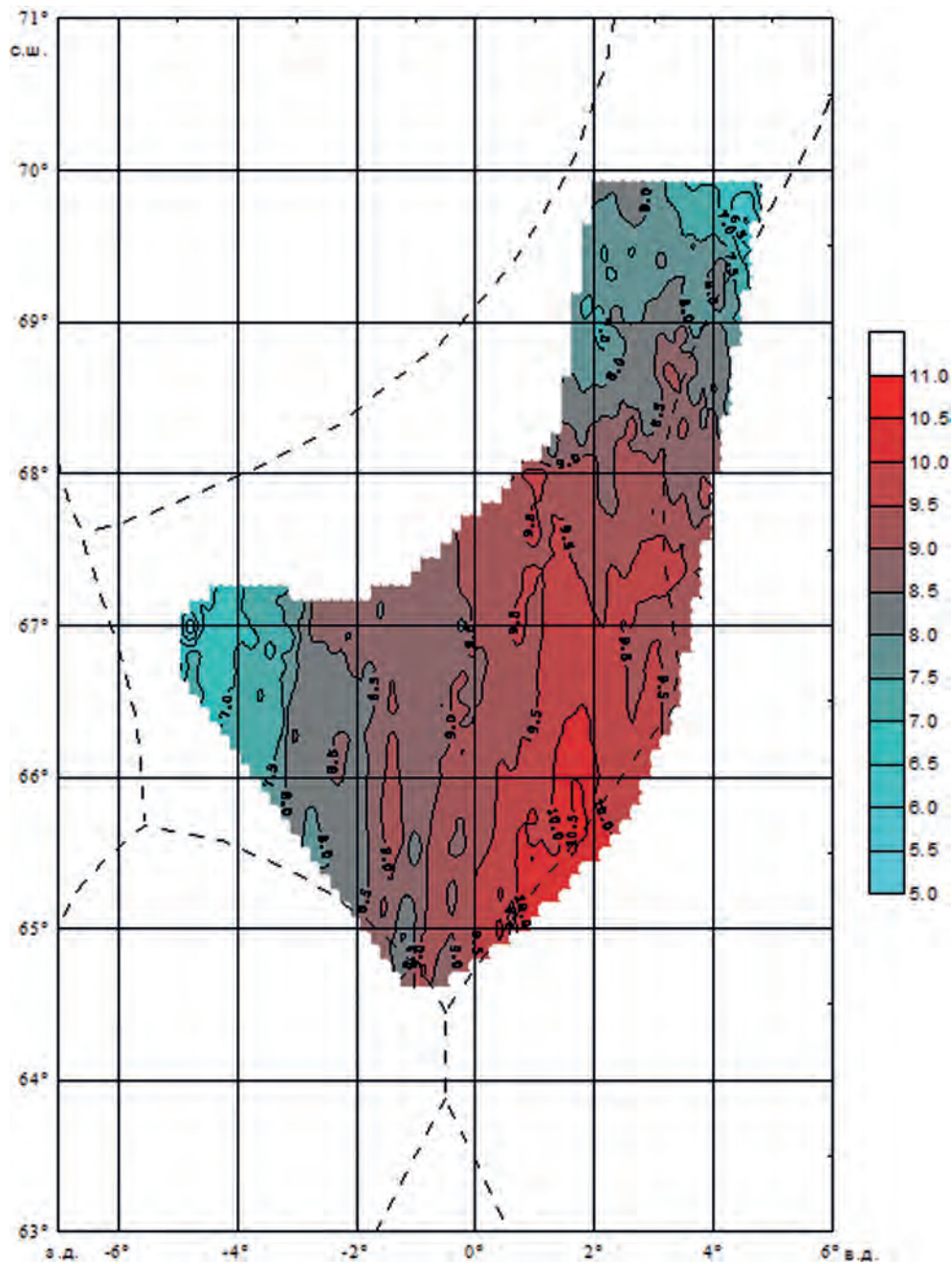


**Рисунок 4.4.** Распределение температуры (°C) поверхности океана по результатам фоновой съёмки 06.07–17.07.1997

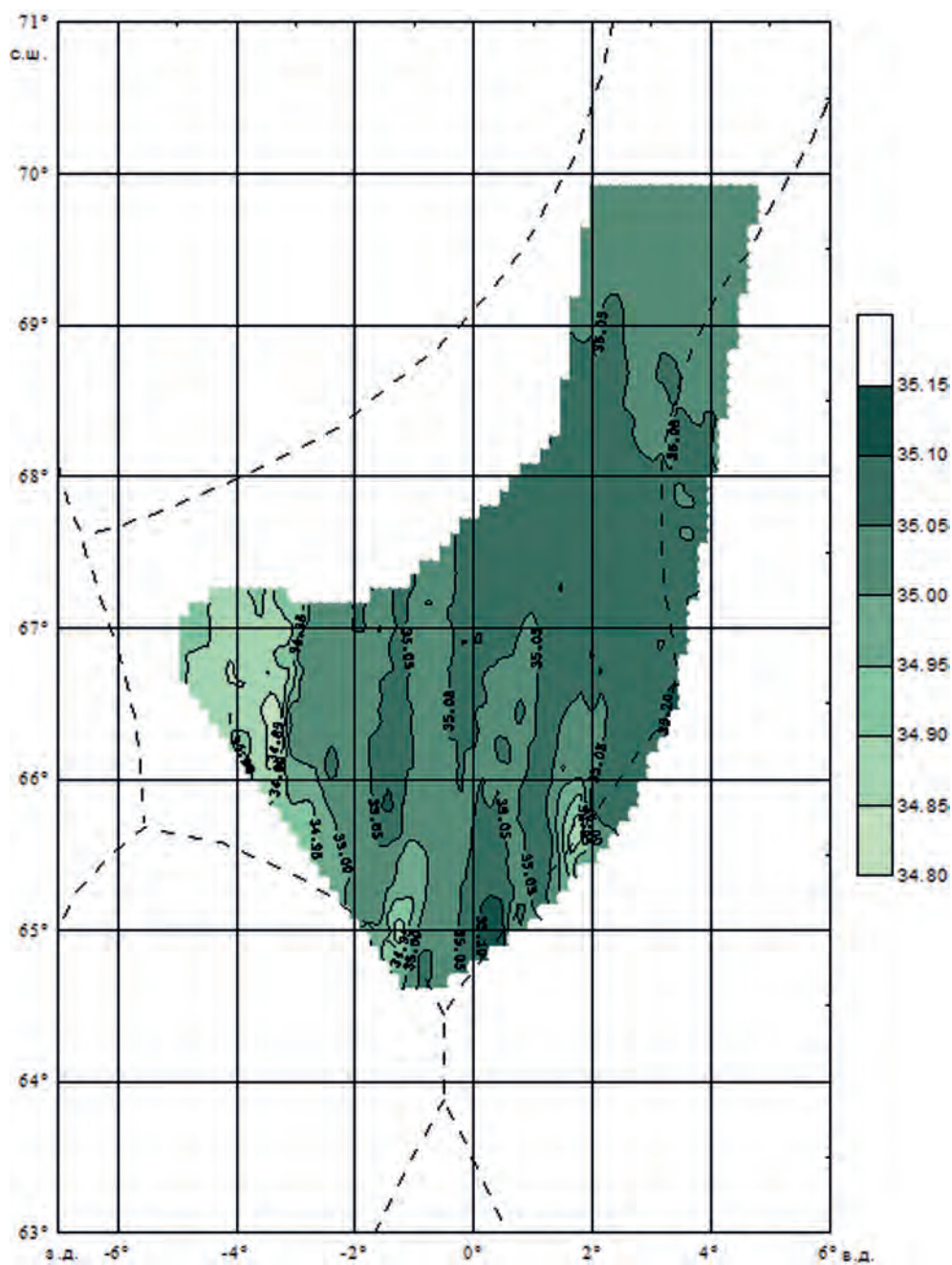


**Рисунок 4.5.** Распределение солёности (‰) на поверхности океана по результатам фоновой съёмки 06.07–17.07.1997

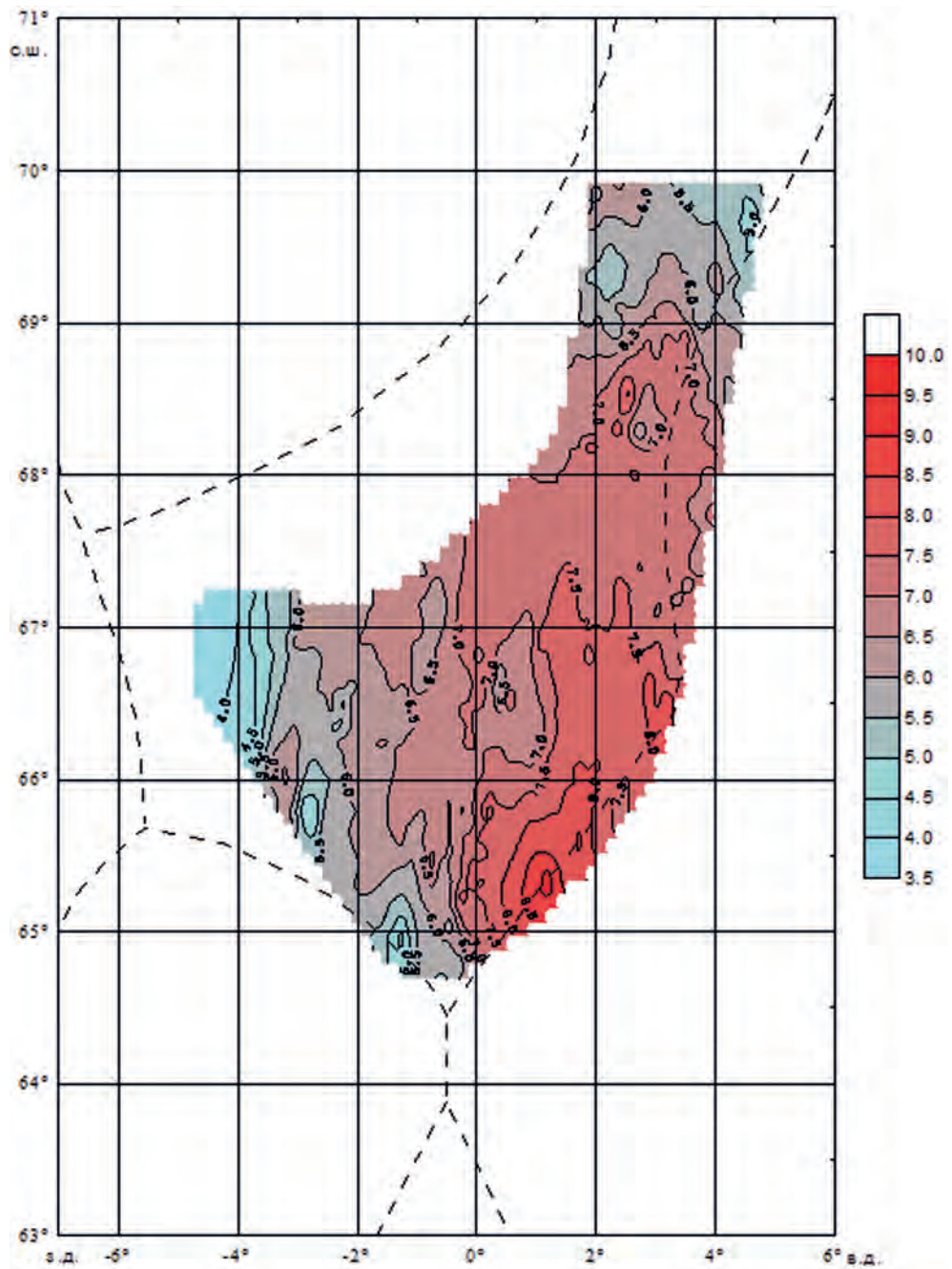




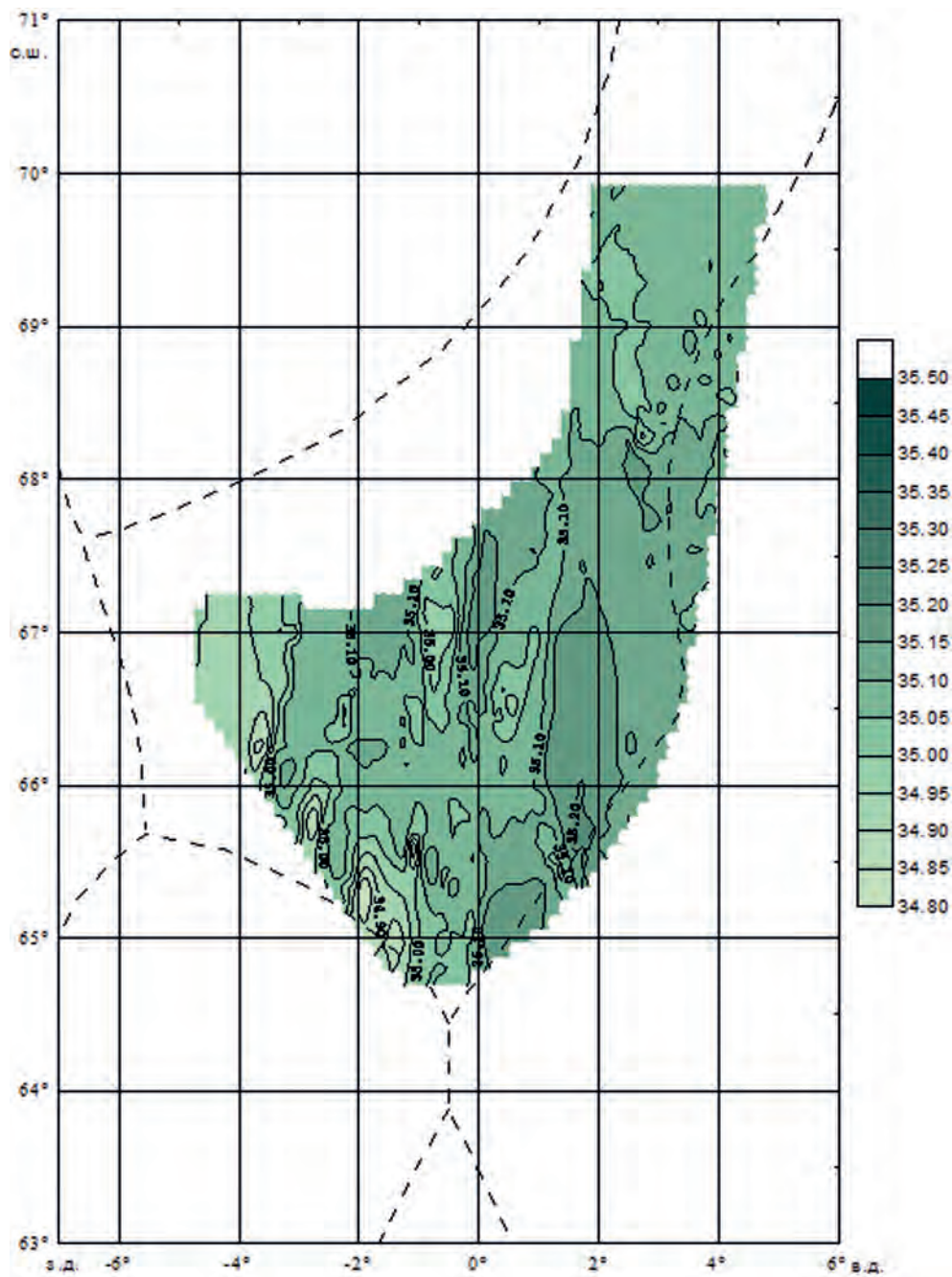
**Рисунок 4.6.** Распределение температуры (°C) океана на глубине 20 м по результатам фоновой съёмки 06.07–17.07.1997



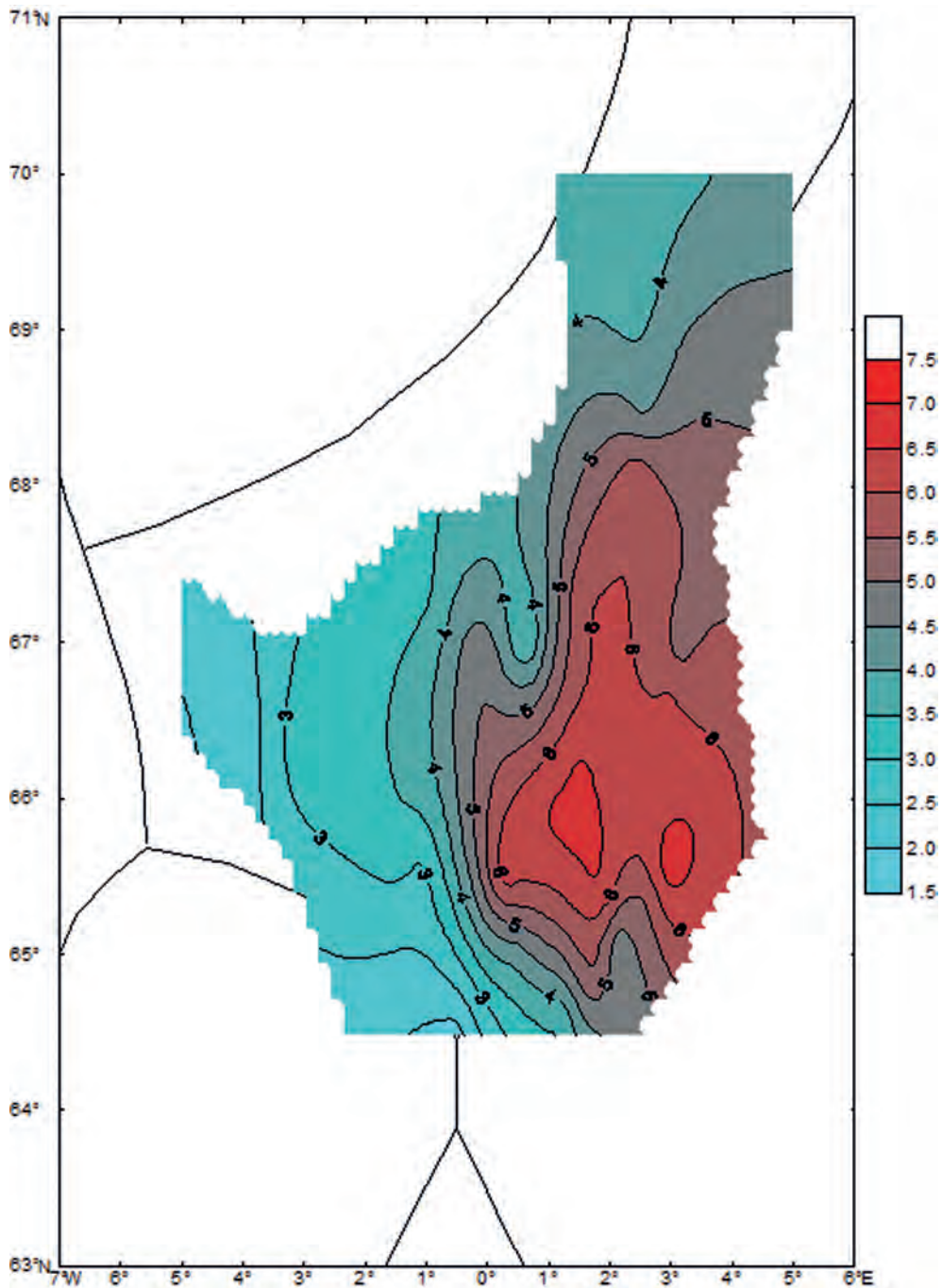
**Рисунок 4.7.** Распределение солёности (‰) океана на глубине 20 м по результатам фоновой съёмки 06.07–17.07.1997



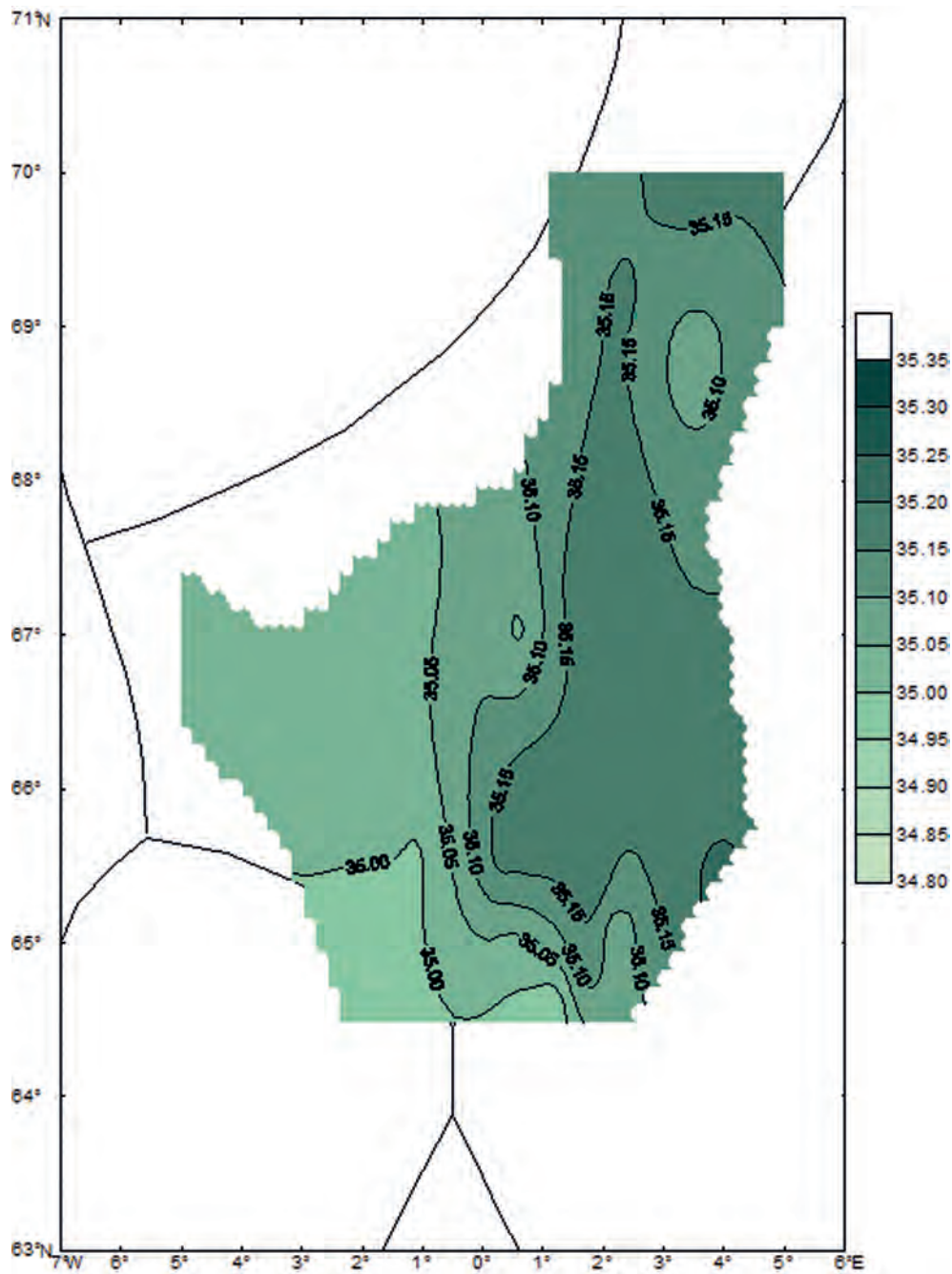
**Рисунок 4.8.** Распределение температуры (°C) океана на глубине 50 м по результатам фоновой съёмки 06.07–17.07.1997



**Рисунок 4.9.** Распределение солёности (‰) океана на глубине 50 м по результатам фоновой съёмки 06.07–17.07.1997



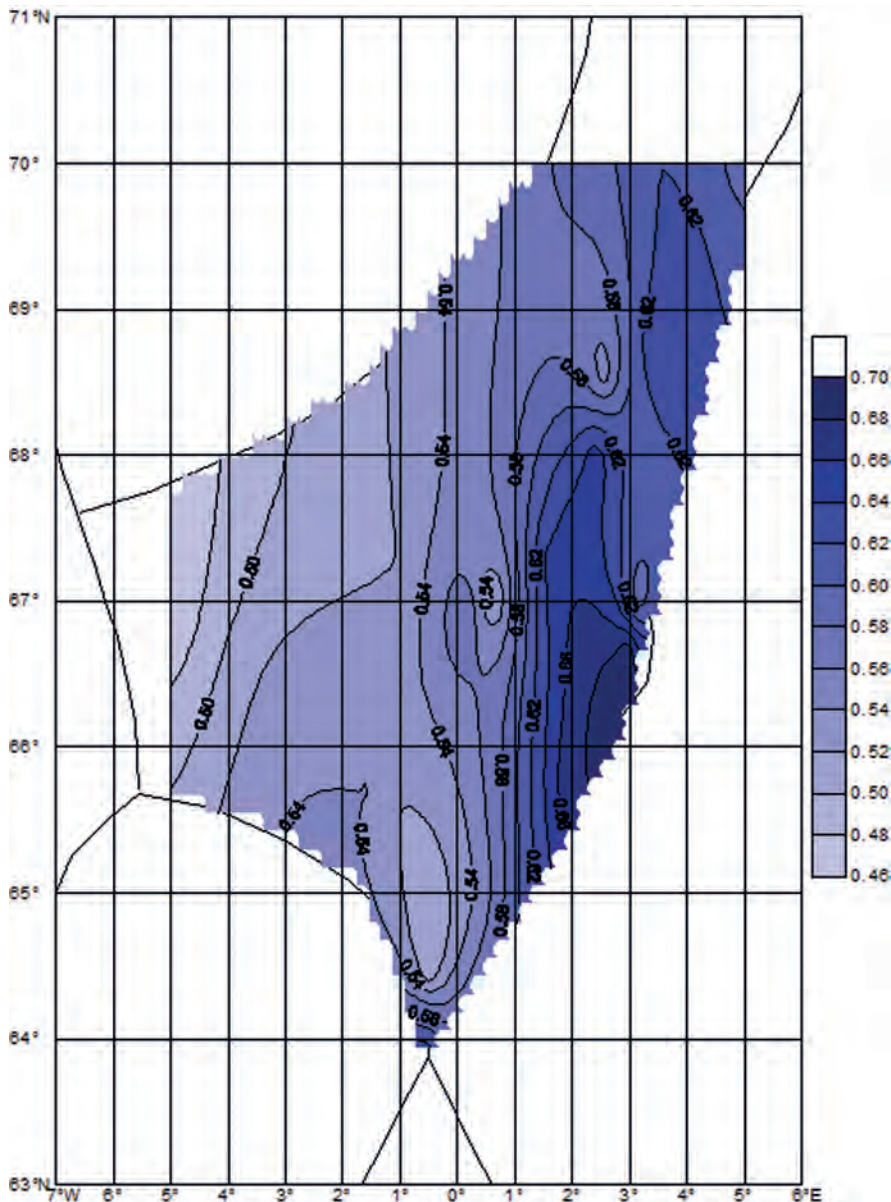
**Рисунок 4.10.** Распределение температуры (°C) океана на глубине 200 м по результатам фоновой съёмки 06.07–17.07.1997



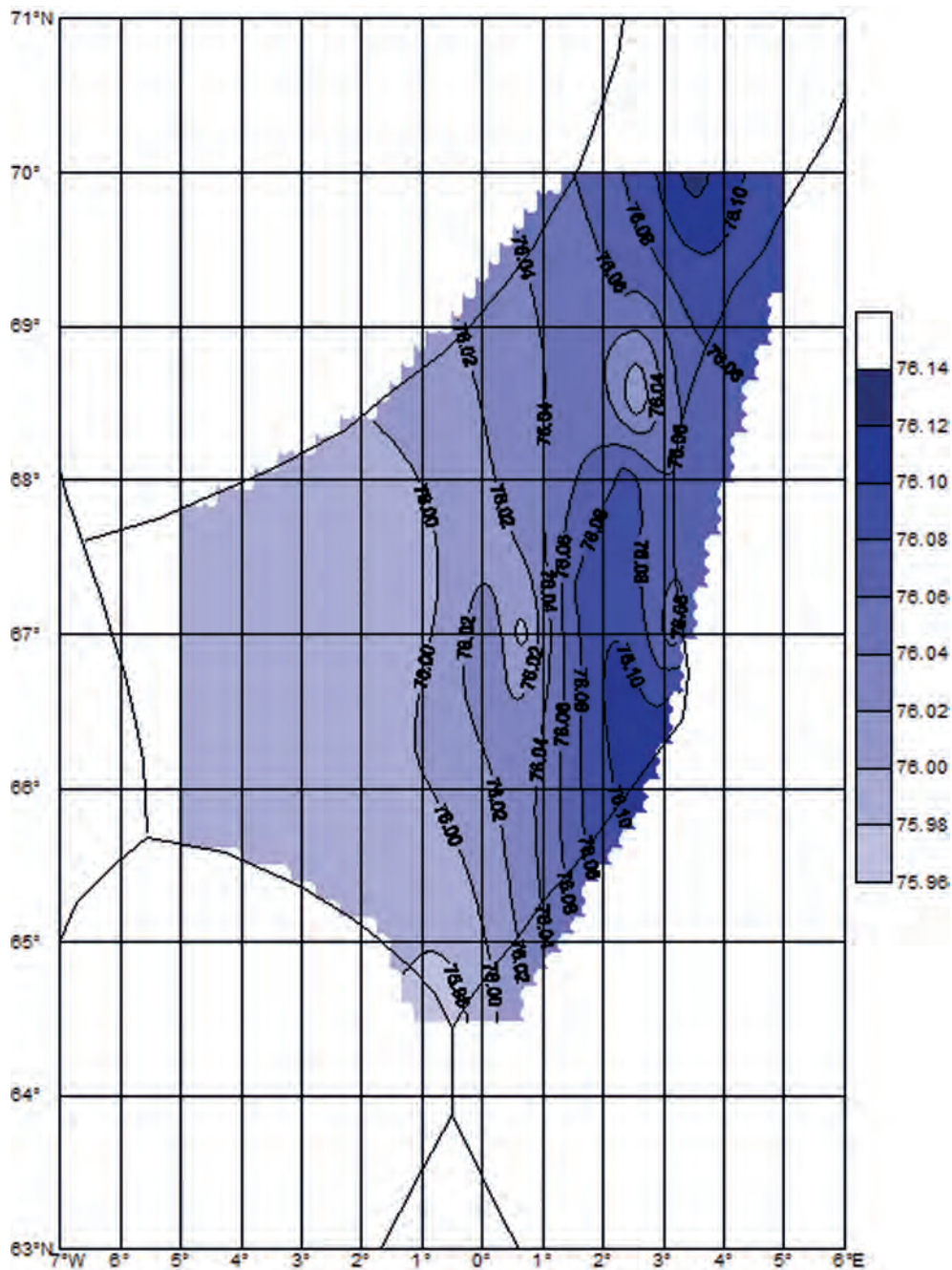
**Рисунок 4.11.** Распределение солёности (‰) океана на глубине 200 м по результатам фоновой съёмки 06.07–17.07.1997

## 4.3.4. ДИНАМИКА ВОД И ФРОНТАЛЬНЫЕ ЗОНЫ

На рисунках 4.12 и 4.13 показаны карты динамической топографии поверхности воды и динамической поверхности 200 м относительно нулевого уровня 1000 м, на которых отчётливо прослеживается струя Западной ветви от 63 до 70° с.ш. в генеральном направлении на север вдоль 1°–2° в.д. В районе 64°–65° с.ш. в связи с особенностями рельефа дна между 1° з.д. и 1° в.д. существует квазистационарный циклонический круговорот, отклоняющий тёплое течение к востоку до 2°–3° в.д., после чего течение вновь приобретает меридиональную направленность. Наибольшее сгущение изолиний динамических высот, указывающее на обострение потока, выделено на стыке ФЭЗ и НЭЗ и на юго-востоке ОЧНМ. На широте около 69° с.ш. отмечается разделение единого потока на собственно Западную ветвь и Северо-Западное ответвление в сторону о-ва Ян-Майен и порога Мона.



**Рисунок 4.12.** Распределения динамической топографии поверхности воды относительно нулевого уровня 1000 м

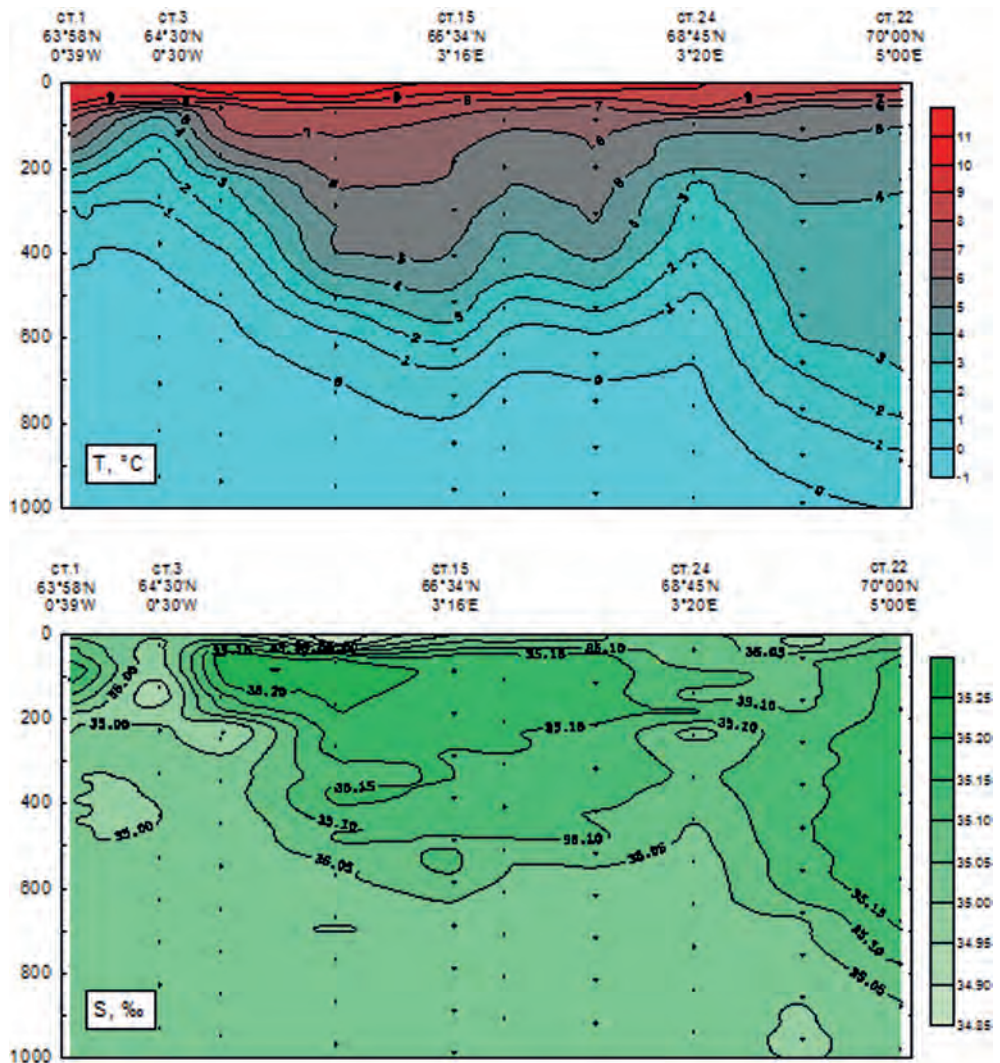


**Рисунок 4.13.** Распределение динамической поверхности 200 м относительно нулевого уровня 1000 м

В результате фоновой съёмки в ОЧНМ установлено, что стрежень Западной ветви Норвежского течения в этом районе в июле 1997 находился близко к своему среднегодовому положению (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998). По сравнению с июнем поток тёплых вод на юге открытой части моря несколько (порядка  $1^\circ$ ) сместился к западу, на участке  $66^\circ$ – $69^\circ$  с.ш. находится на том же уровне. По данным разреза вдоль границы Норвежской экономической зоны (рисунок 4.14) стрежень тёплого течения, выходящего в открытую часть моря проходит между  $65$  и  $66^\circ$  с.ш. и выделяется по температуре до глубин  $500$ ... $600$  м. Ядро потока с температурой  $6$ ... $8^\circ\text{C}$  и солёностью более  $35,20\%$

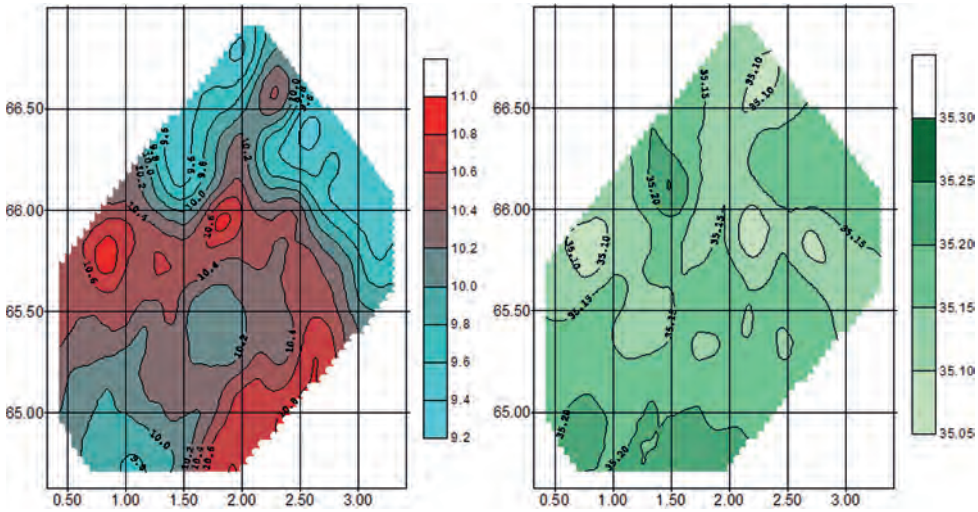


локализовано в слое 50...200 м (см. рисунки 4.8–4.11). Более детальное зондирование на микрополигоне подтвердило положение основного потока Западной ветви Норвежского течения, в юго-восточной ОЧНМ, который выходит из НЭЗ в ОЧНМ между 65 и 65°45' с. ш. (рисунок 4.15) (Левашов, 2004; Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).



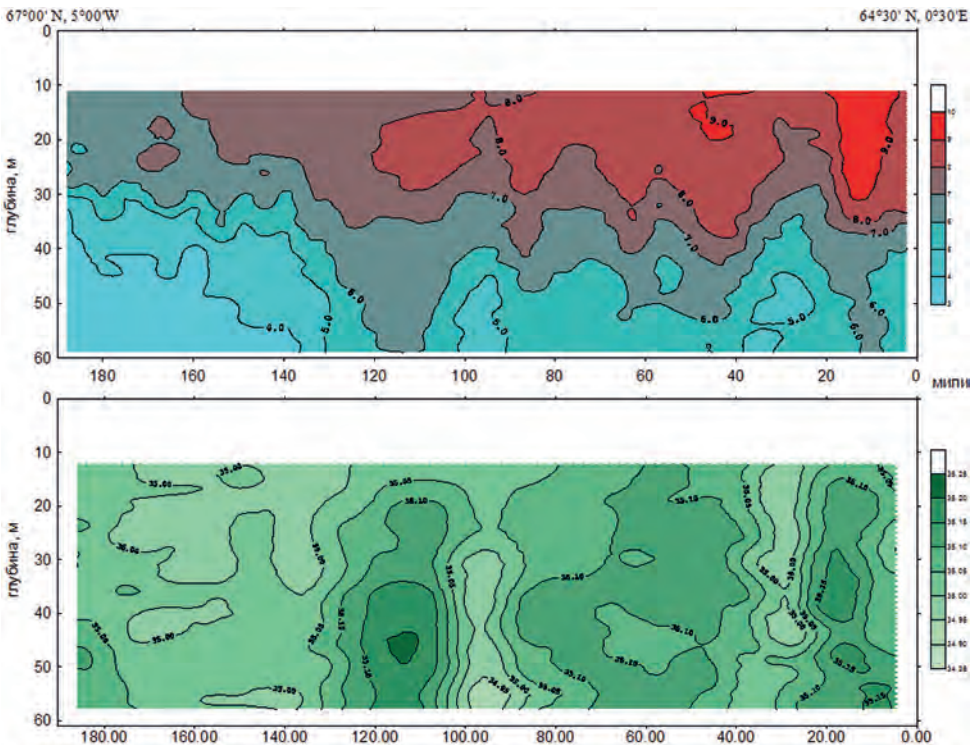
**Рисунок 4.14.** Вертикальный разрез 0...1000 м (ось ординат) вдоль границы Норвежской экономической зоны: температура, °C (вверху), солёность, ‰ (внизу)

В центральной части Норвежского моря между 65° и 69° с. ш., как правило, происходит активное перемешивание полярных и атлантических вод посредством фронтальных вихрей. В этом районе в результате преобразований внутри ПФЗ существуют крупные, как по пространству, так и по глубине циклонические и антициклонические вихри. Область полярного фронта, разделяющая смешанные воды и атлантическую водную массу, наиболее отчётливо выделена в слое 200...300 м, где она проходит по границе Западной ветви Норвежского течения от юга ОЧНМ на север между 1 и 3° в.д. Наибольшие горизонтальные градиенты температуры отмечены между 65 и 66° с. ш. и превышают 0,1 град/милю. В слое 50...150 м фронт здесь более размыт, область наибольших перепадов температуры (>0,07 град/милю) находится на западе района работ между 3°30' и 4° з.д. (Левашов, 2004; Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

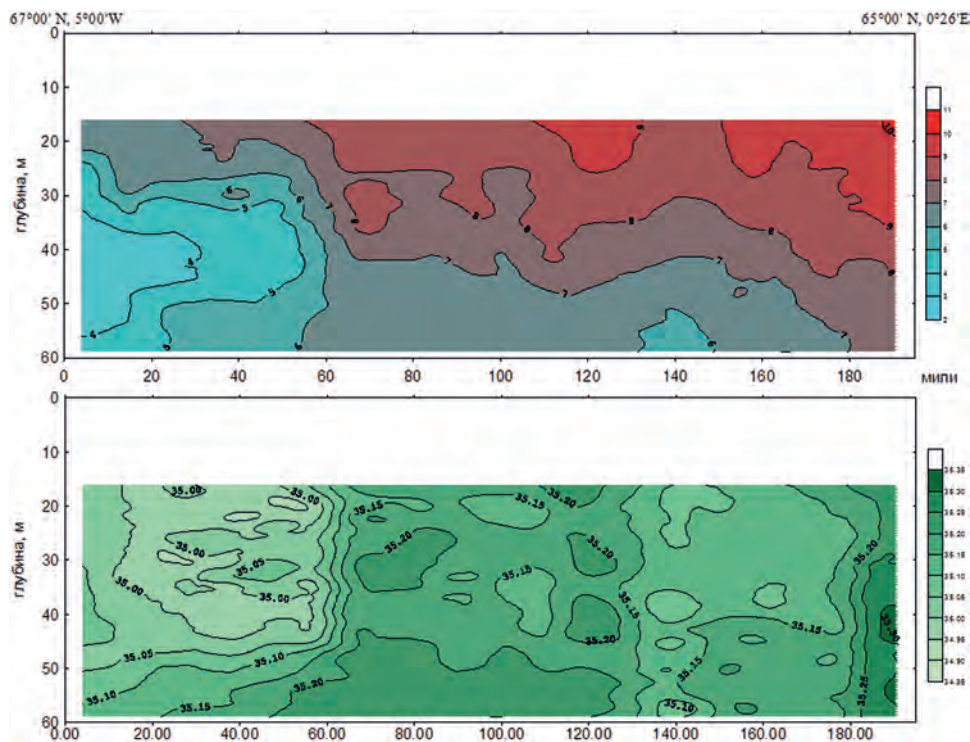


**Рисунок 4.15.** Распределение температуры и солёности на микрополигоне

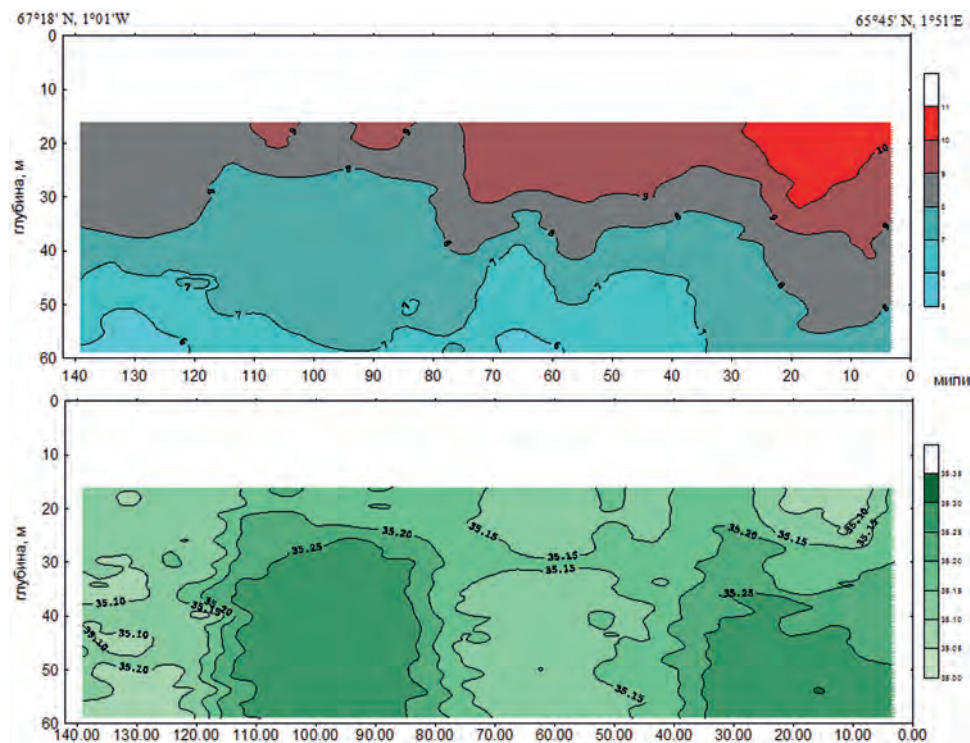
В верхнем 50-метровом слое по данным глубоководных наблюдений, а также в результате непрерывного зондирования (см. рисунки 4.4–4.9, 4.16–4.21) фронтальная зона на западе совпадает с нижележащей, на востоке района смещается от  $1^\circ$  з.д. на  $64^\circ 30'$  с.ш. через нулевой меридиан на  $65^\circ$  с.ш. до  $0^\circ 30' - 2^\circ$  в.д. севернее  $67^\circ$  с.ш. На широте  $68^\circ - 69^\circ$  с.ш. фронтальная зона приобретает широтную направленность (ширина её здесь порядка 30-40 миль). Под поверхность в слое 20...50 м (см. рисунки 4.6–4.9) между  $68$  и  $69^\circ$  с.ш. фронтальный раздел размывается рядом квазистационарных круговоротов различной направленности диаметром до 40 миль (Левашов, 2004; Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).



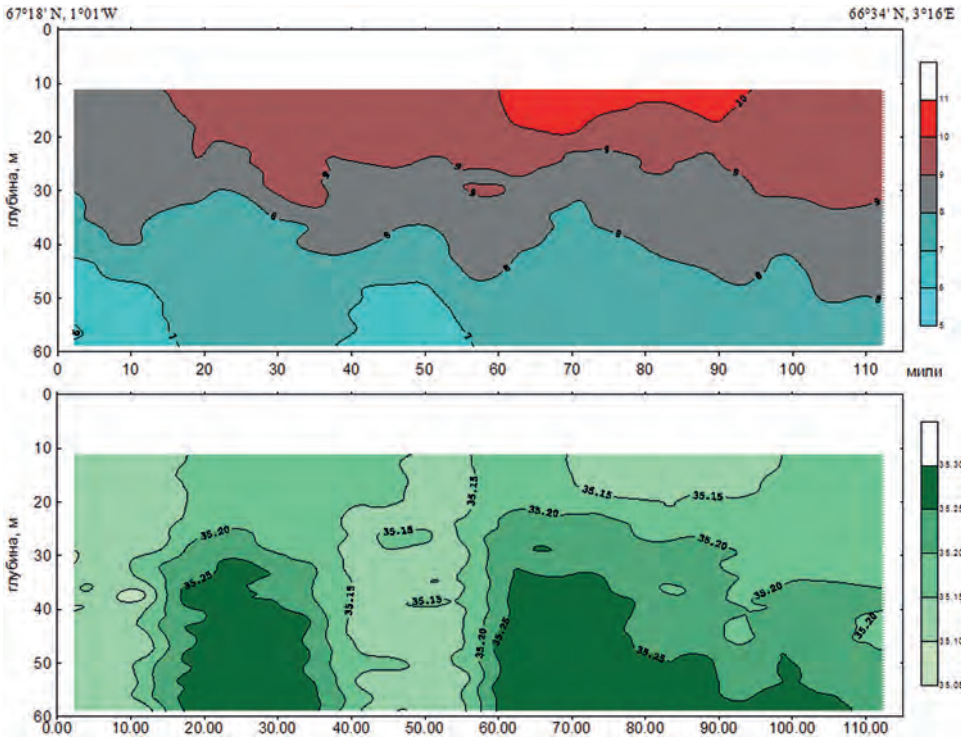
**Рисунок 4.16.** Вертикальный разрез температуры (вверху) и солёности (внизу) на галсе № 1 (см. рисунок 2.6)



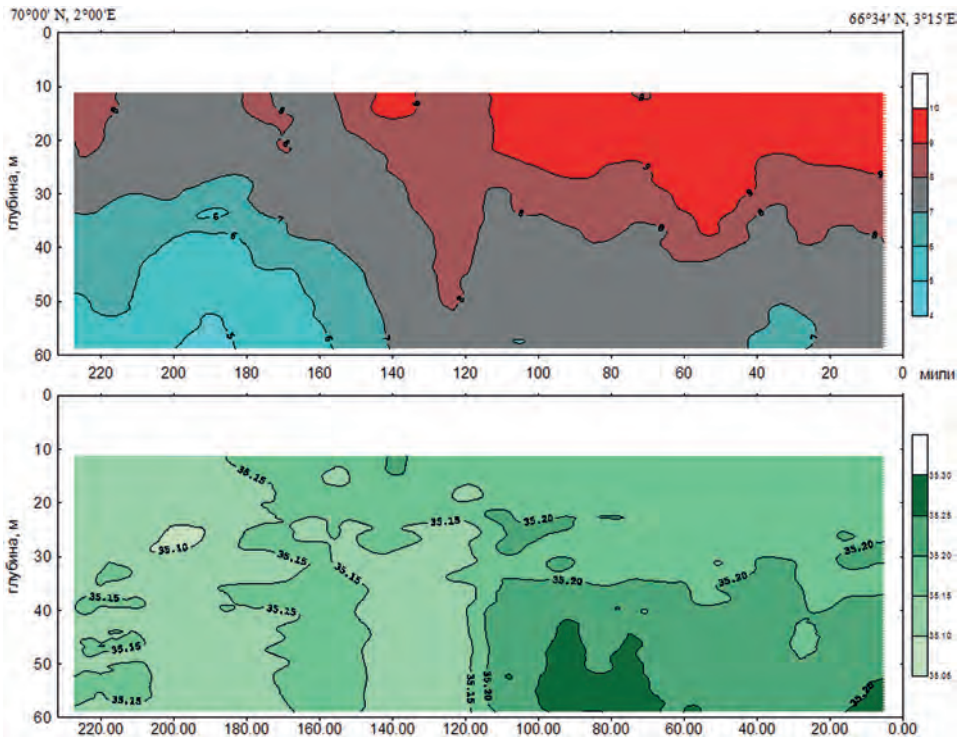
**Рисунок 4.17.** Вертикальный разрез температуры (вверху) и солёности (внизу) на галсе № 2 (см. рисунок 2.6)



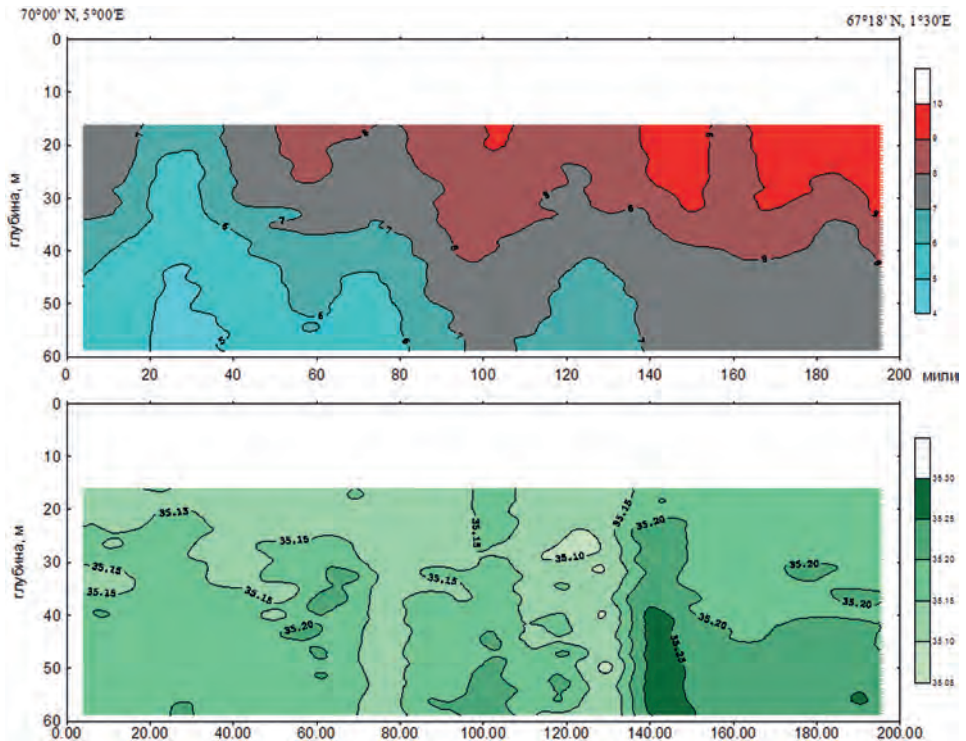
**Рисунок 4.18.** Вертикальный разрез температуры (вверху) и солёности (внизу) на галсе № 3 (см. рисунок 2.6)



**Рисунок 4.19.** Вертикальный разрез температуры (вверху) и солёности (внизу) на галсе № 4 (см. рисунок 2.6)



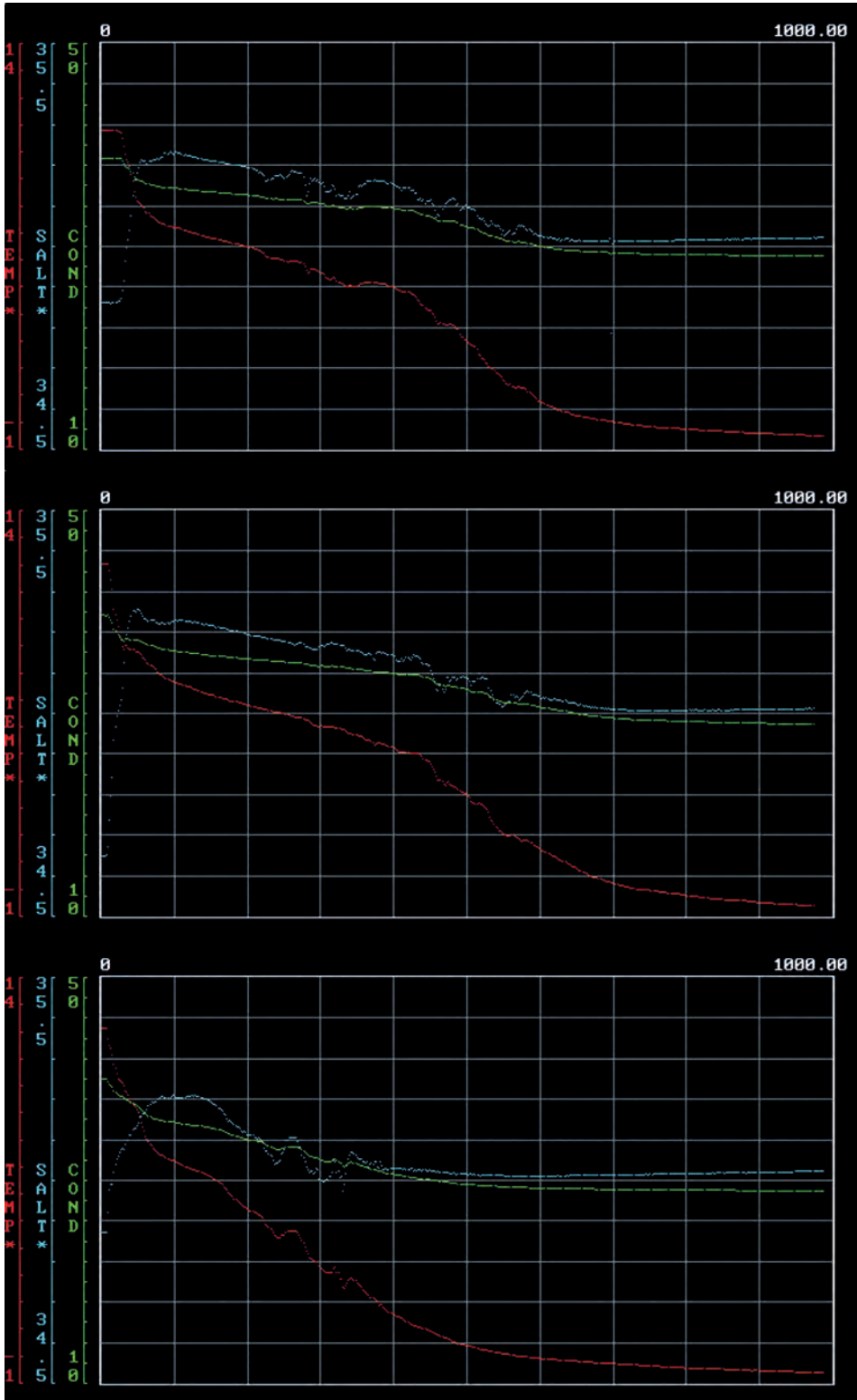
**Рисунок 4.20.** Вертикальный разрез температуры (вверху) и солёности (внизу) на галсе № 5 (см. рисунок 2.6)



**Рисунок 4.21.** Вертикальный разрез температуры (вверху) и солёности (внизу) на галсе № 7 (см. рисунок 2.6)

Температура поверхностного слоя воды в течение первой половины июля (см. рисунок 4.4) изменялась от 12,6 °С на юго-востоке ОЧНМ и в НЭЗ до 7,2 °С на севере (70° с.ш.) и 6,6 °С на западе района (67° с.ш., 5° з.д.). Темпы радиационного прогрева поверхности воды были близки к среднемноголетним. За период от июня к июлю повышение температуры в верхнем 50-метровом слое составило в среднем около 1,4...1,8 °С. Наибольший прогрев (до 2,5...3,3 °С) отмечался в области стрежня Западной ветви Норвежского течения, станции 10, 32, 34 (рисунок 4.22) (Левашов, 2004; Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

Если в поле температуры в верхнем слое воды (см. рисунки 4.4 и 4.6) прослеживается ярко выраженная меридиональная направленность, то в поле солёности на поверхности (см. рисунки 4.5 и 4.7) можно выделить обособленные области максимумов и минимумов. Минимумы соответствуют в западной части района работ смешанным водам и составляют значения 34,95...34,90 ‰, на востоке и юго-востоке акватории — распреснённым поверхностным водам прибрежного происхождения и достигают 34,7...34,5 ‰. Наиболее отчётливо это распреснение прослеживается к востоку от НЭЗ. Относительные максимумы (около 35,05 ‰) располагаются в центральных районах ОЧНМ и соответствуют модифицированной атлантической воде. Уже на глубине 50 м поле солёности значительно выравнивается (см. рисунок 4.9). Области с солёностью менее 35,05 ‰ соответствуют смешанным водам на западе района. В юго-восточной части отмечается халинный максимум (>35,2 ‰), обусловленный близостью ядра атлантических вод. Горизонтальные градиенты солёности как на глубине 50 м, так и в более глубоких слоях соответствуют термической фронтальной зоне (см. рисунки 4.9 и 4.11) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).



**Рисунок 4.22.** Результаты измерений вертикальных профилей температуры (красный), солёности (голубой) и проводимости (зелёный) на станциях 10 (вверху), 32 (средний график) и 34 (внизу)

### 4.3.5. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА С ПОМОЩЬЮ НЕПРЕРЫВНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

При проведении комплексного эксперимента по изучению биопродуктивных зон ОЧНМ была поставлена задача оценки мезомасштабной пространственной изменчивости гидрофизических полей верхнего слоя в этом районе. Для решения этой задачи было осуществлено непрерывное зондирование слоя воды от 6...10 до 45...60 м (в среднем толщина слоя составила 30...40 м) на ходу судна при помощи буксируемого измерительного комплекса AquaShuttle. Фоновая съёмка ОЧНМ проводилась на семи галсах длиной 110...220 миль каждый (см. рисунок 2.6) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

Основываясь на результатах предварительного анализа динамики и структуры вод по данным фоновой съёмки ОЧНМ, был выбран микрополигон в юго-восточной части исследуемого района для более детального исследования зоны взаимодействия водных масс. Непрерывное зондирование верхнего слоя проводилось также на трёх подспутниковых полигонах, расположенных в пределах НЭЗ (см. рисунок 4.1). Сетка галсов на всех микрополигонах была выбрана с учётом пространственных размеров основных мезомасштабных структур исследуемого района (меандры на границах течения, вихри и т.п.).

На ходу судна параллельно с непрерывным зондированием толщи воды осуществлялся сбор информации о температуре поверхности океана с помощью бортового датчика.

Полученные данные по температуре и солёности воды представлены в виде горизонтальных и вертикальных распределений. Они позволяют представить пространственную изменчивость динамической структуры вод исследуемого района и выявить неоднородности распределения гидрофизических параметров, а также зафиксировать области динамической неустойчивости. Так, в полях распределения температуры и солёности на поверхности океана и на горизонтах 20 и 50 м в ОЧНМ (см. рисунки 4.4–4.9) чётко прослеживается зона фронтального раздела между тёплыми водами Норвежского течения и холодными смешанными водами Норвежского моря вытянутая вдоль нулевого меридиана. Высокая дискретность полученных данных позволяет увидеть несглаженную картину распределения гидрологических характеристик в районе этой фронтальной зоны. Так, в поле температуры и солёности наблюдаются локальные пространственные возмущения на фронтальном разделе между водными массами различного происхождения в виде перемежающихся затоков относительно пресных холодных вод и высокосолёных тёплых вод (участок на 66°30' с.ш., 0°40' в.д.) (Левашов, 2004; Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

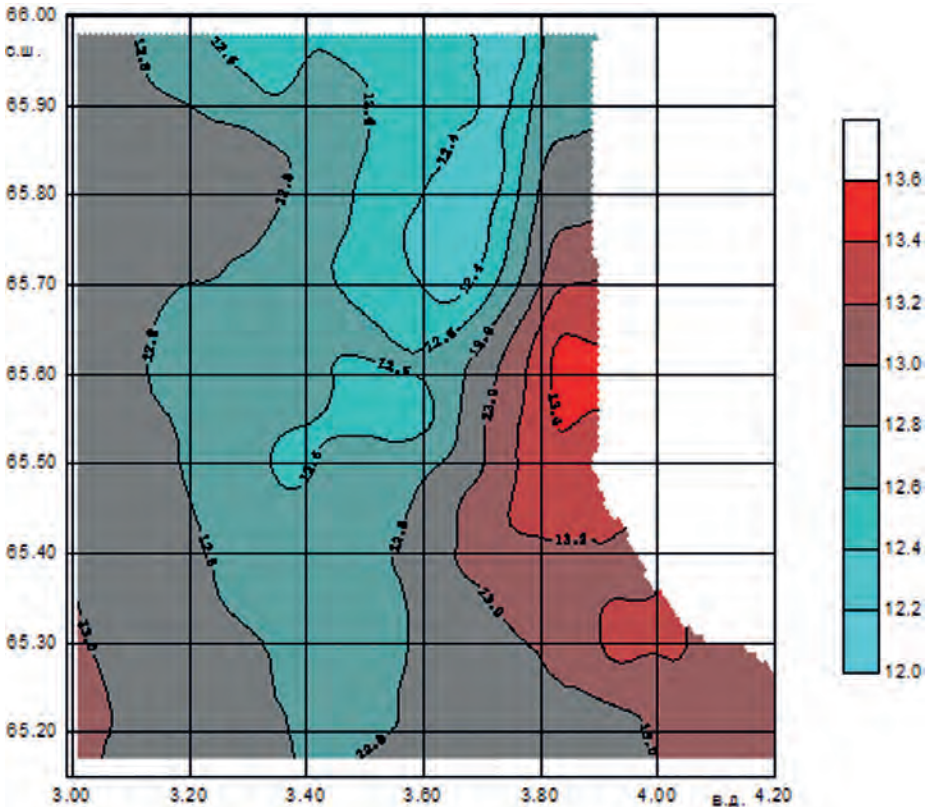
Особенно следует отметить выделенную градиентную зону на севере исследуемого полигона (в районе 69° с.ш.) хорошо различимую на картах распределения температуры на горизонтах 20 и 50 м (см. рисунки 4.6, 4.8). Повышенный горизонтальный градиент температуры ориентированный на север, по-видимому, вызван трансформацией атлантических вод, взаимодействующих с окружающими водами Норвежского моря (Левашов, 2004; Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

В целом в юго-восточной и центральной частях фонового полигона, а также на микрополигоне в районе промысла скумбрии выделено несколько локальных мезомасштабных вихрей: на поверхности с центрами в координатах 65° с.ш., 0°30' в.д.; 65°30' с.ш., 1°30' з.д. и 64°45' с.ш., 1°–0°30' з.д. — циклонических, причём на крайнем юге ОЧНМ купол холодных и относительно пресных смешанных вод прослеживается до глубин 200...300 м; антициклонических — 66°55' с.ш., 0° (также до глубин 200...300 м), 66° с.ш., 1°45' в.д.; 65°30' с.ш., 0°45' в.д. и 64°30' с.ш., 4°30' в.д. (два последних выделены по спутниковым снимкам). Под верхним квазиоднородным слоем мезомасштабные образования расположены на глубине порядка 50 м с центрами в координатах 70°00' с.ш., 3°00' в.д.; 69°30' с.ш., 2° в.д.; 66°40' с.ш., 0°30' в.д.; 66°20' с.ш., 1°40' в.д.; 65°30' с.ш., 0°45' з.д. и 64°50' с.ш., 1° з.д. (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

Для более точного представления характера взаимодействия вод и особенности их распределения в граничных зонах целесообразно рассмотреть вертикальные профили температуры и солёности воды вдоль галсов непрерывного зондирования верхнего слоя океана (см. рисунки 4.16–4.21), номера галсов даны в соответствии со схемой на рисунке 2.6.

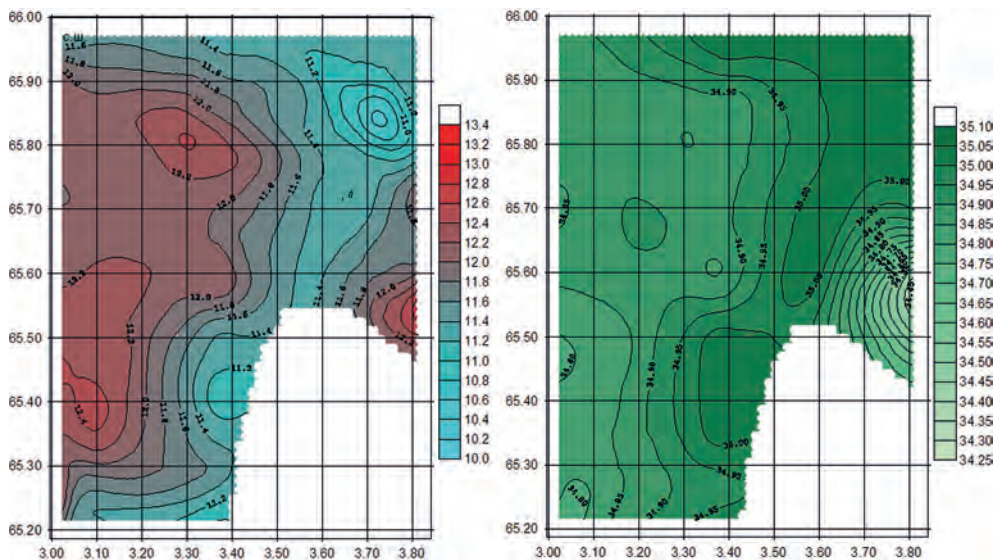
Учитывая относительно быстрые темпы проведения съёмки и высокую пространственную плотность получаемых данных, можно считать, что получаемая картина распределения гидрофизических параметров детально отражает мезомасштабную структуру и пространственную изменчивость верхнего слоя океана. Анализ вертикальных профилей температуры и солёности вдоль галсов, пересекающих основной поток атлантических вод, как в меридиональном, так и в зональном направлениях, показал, что в верхнем слое ограниченном термоклином, распространение тёплых вод с высокой солёностью, идущих с Западной ветвью Норвежского течения, осуществляется посредством перемежающихся локализованных ячеек подъёма и опускания вод. Такой характер вертикальной циркуляции верхнего слоя обусловлен меандрированием основного горизонтального потока (Левашов, 2004; Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

С целью оценки степени достоверности дистанционных методов зондирования океана с борта искусственных спутников Земли и авиационных носителей, а также для детализации *in situ* пространственных неоднородностей, выявленных с помощью этого зондирования была выполнена серия подспутниковых микрополигонов (см. рисунок 4.1). На них, как и на фоновом полигоне был выделен ряд областей динамической неустойчивости в виде меандров и вихрей. Так, на полигоне № 2 на поверхности отмечены чередующиеся антициклонические и циклонические вихри, распознаваемые как в поле температуры, так и солёности, которые прослеживаются до глубин залегания термо- и халоклина (слой порядка 30 м). Причём, участкам с пониженной солёностью (центры в координатах  $65^{\circ}30'$  с.ш.,  $3^{\circ}50'$  в.д. и  $65^{\circ}25'$  с.ш.,  $3^{\circ}10'$  в.д.) соответствуют области повышенной температуры и наоборот (рисунки 4.23–4.26). Горизонтальные размеры отмеченных образований порядка 20...30 миль. Наиболее характерно чередование зон подъёма и опускания вод в вихрях антициклонического и циклонического знака проявляется на полигоне №3 (рисунки 4.27 и 4.28). Это также видно на вертикальных профилях температуры и солёности вдоль галсов (см. рисунки 4.16–4.21) (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

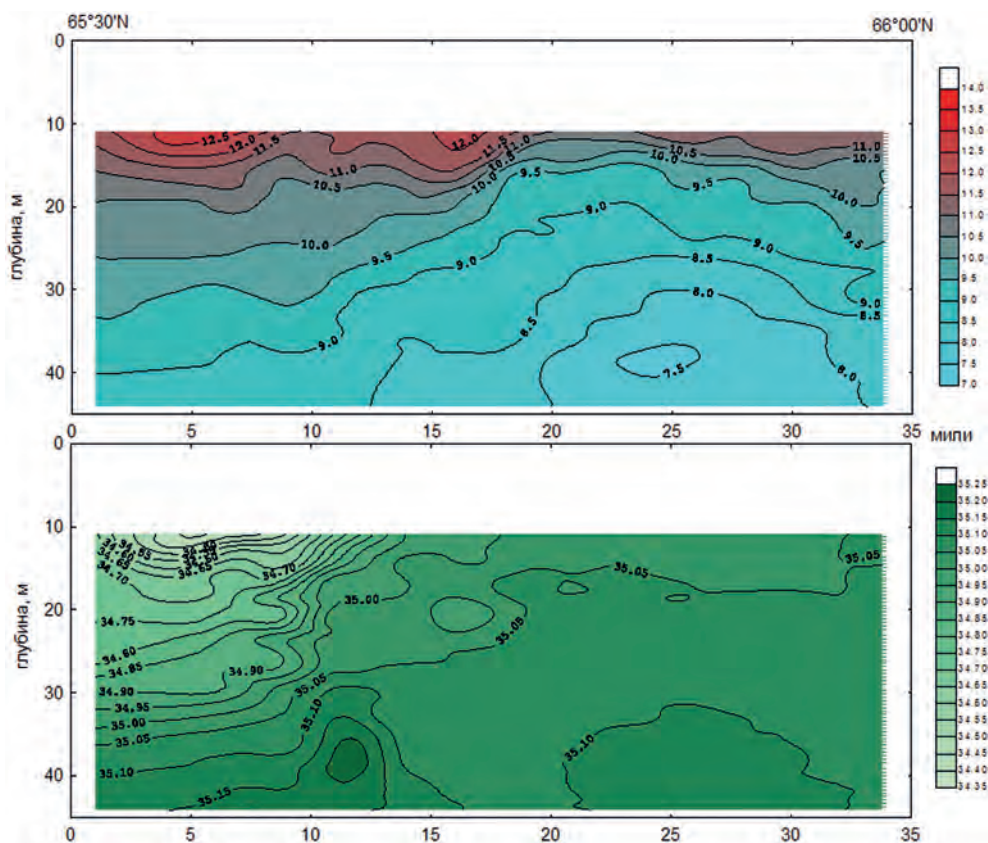


**Рисунок 4.23.** Распределение температуры поверхности океана. Подспутниковый полигон № 2, 21.0723.07.1997

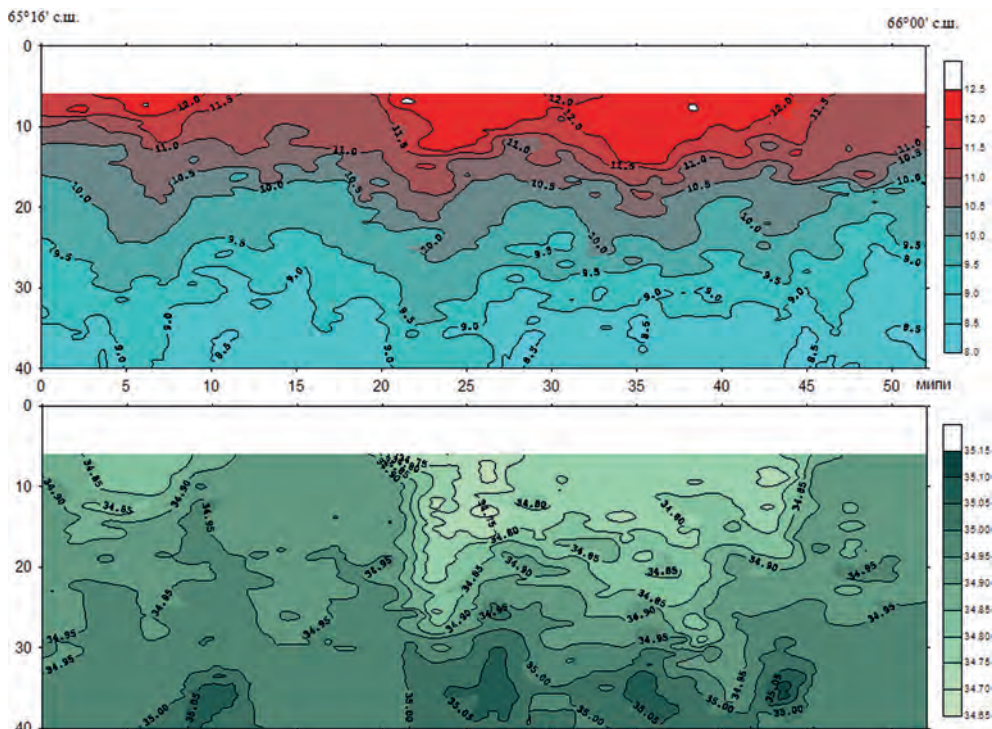




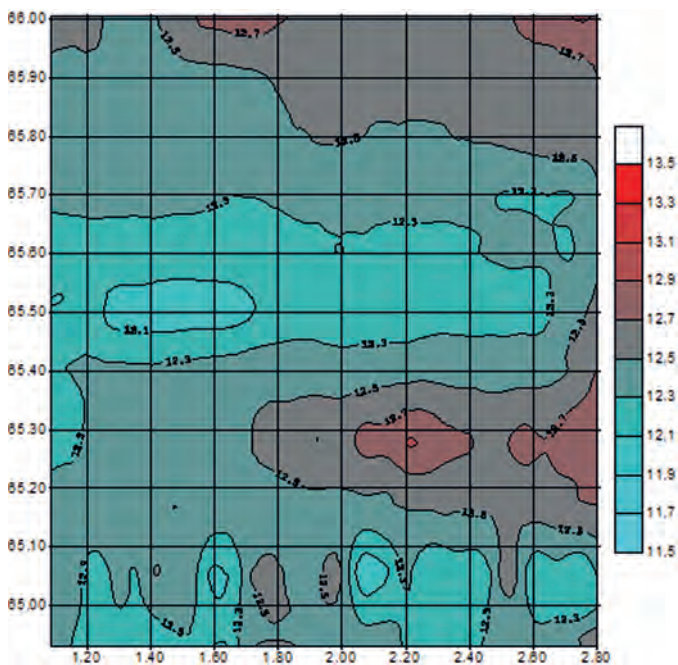
**Рисунок 4.24.** Распределение температуры(слева) и солёности (справа) на глубине 10 м. Подспутниковый полигон № 2, 21.07.–23.07.1997



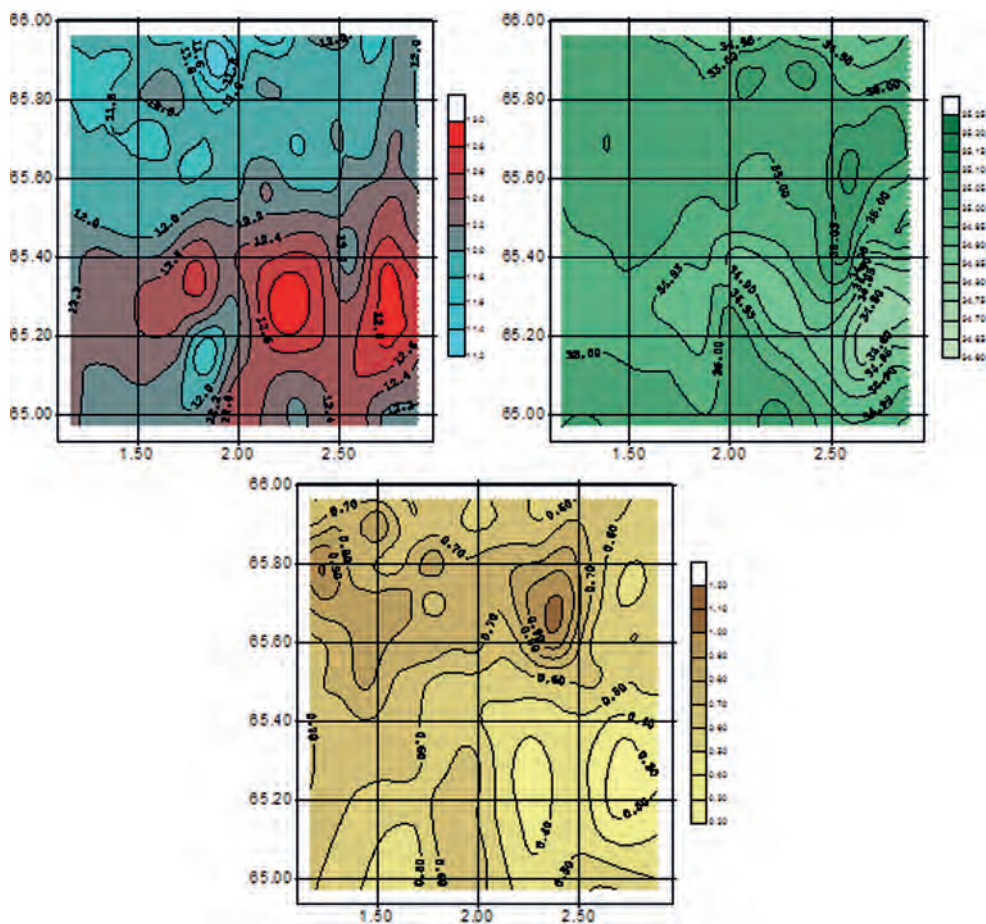
**Рисунок 4.25.** Вертикальное распределение температуры (вверху) и солёности (внизу) на разрезе вдоль 3°48' в.д. Подспутниковый полигон № 2, 21.07.–23.07.1997



**Рисунок 4.26.** Вертикальное распределение температуры (вверху) и солёности (внизу) на разрезе вдоль  $3^{\circ}22'$  в.д. Подспутниковый полигон № 2, 21.07–23.07.1997



**Рисунок 4.27.** Распределение температуры поверхности океана. Подспутниковый полигон № 3, 23.07–25.07.1997



**Рисунок 4.28.** Распределение температуры (вверху слева), солёности (вверху справа) и хлорофилл (внизу) на глубине 10 м. Подспутниковый полигон № 3, 23.07–25.07.1997

В результате анализа горизонтального распределения температуры, солёности и хлорофилла в подповерхностном слое можно сделать вывод, что образующиеся в циклонических структурах зоны конвергенции способствуют повышению концентрации хлорофилла “а”, в тёплых антициклонических вихрях отмечается минимум хлорофилла (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

#### 4.4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гидроакустические средства измерений широко используются в рыбохозяйственных исследованиях и морском рыбном промысле для решения задач поиска, оценки рыбных скоплений, выбора и облова промысловых объектов. В отличие от биологических методов, связанных с многолетними наблюдениями и большим объёмом статистики, эхометрические съёмки позволяют оперативно оценивать численность, биомассу и размерный состав промысловых объектов применительно к конкретной ситуации, что открывает широкие возможности рационального регулирования промысла.

В рамках эксперимента работы с гидроакустической аппаратурой проходили в два этапа. На первом этапе проводились калибровочные работы и выбор основных параметров функционирования аппаратуры. На втором этапе непосредственно осуществлялась гидроакустическая съёмка в заданном районе эксперимента (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

## 4.4.1. КАЛИБРОВОЧНЫЕ РАБОТЫ

Калибровка эхолота проводилась в светлое время суток на стопе судна в точке с координатами 54°42.03' с.ш. и 20°27.08' в.д. по эталонному медному шару диаметром 32,1 мм с силой цели 39,1 дБ.

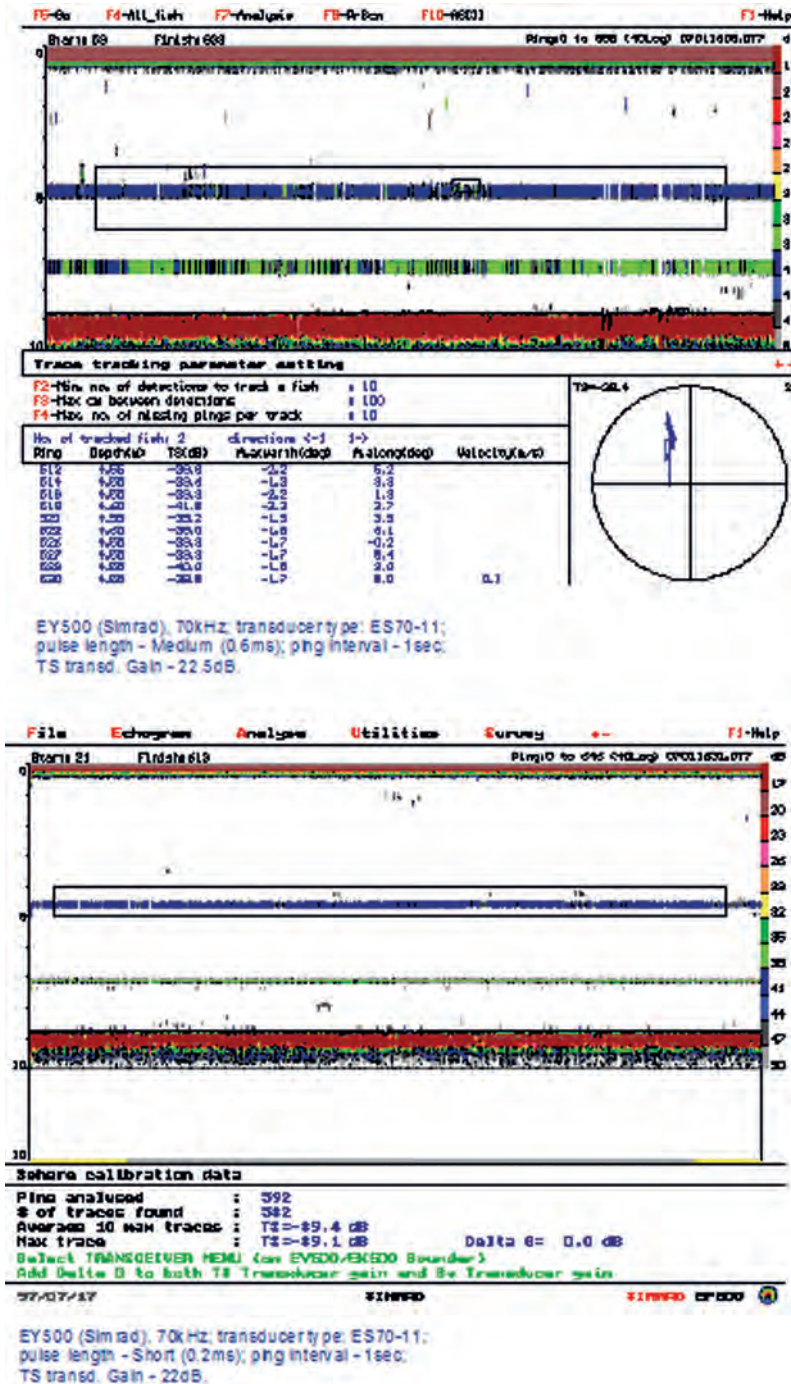


Рисунок 4.29. Запись в процессе калибровки эхолота Simrad EY-500 по медному шару диаметром 32,1 мм (TS = -39,1 дБ) 01.07.1997

Шар подвешивался на леске и заводился при помощи груза под ось акустической антенны на глубину 4,7 м. При этом груз находился на глубине 7,5 м, а расстояние до дна составило 9 м. Волнение моря не превышало 1 балла.

В результате измерения силы цели для длительности 0,6 мс (Medium), требуемое значение рабочего усиления эхолота (TS Gain и Sv Gain) составило 22,7 дБ при номинале для используемого типа антенны в 23 дБ, для длительности 0,2 мс (Short) — 22 дБ (рисунок 4.29).

#### 4.4.2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АППАРАТУРЫ

При работе на скоплениях скумбрии и путассу диапазон глубин не превышал 50...250 м. Для этого диапазона вполне достаточно использовать длительность импульса 0,6 мс (medium) в первом случае, и 2 мс (long) — во втором. Остальные установки на эхолоте были следующими:

- полоса пропускания — автоматическая;
- усиление эхолота (TS Gain и Sv Gain) — -22,7 дБ;
- максимальная мощность — 637 Вт;
- порог регистрации силы цели (TS threshold) — -55,0 дБ;
- порог интегрирования (Sv threshold) — -60,0 дБ;
- ВАРУ —  $20 \log R$ ;
- частота посылок — 0,5 с;

При интегрировании использовался режим имитации по скорости судна.

#### 4.4.3. ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ СЪЁМКА

В процессе экспедиционных работ в Норвежском море были проведены гидроакустические съёмки двух микрополигонов:

- № 1 (68°35'–68°55' с. ш.; 2°21'–2°35' з. д.) — 86,9 миль<sup>2</sup>;
- № 2 (65°10'–65°59' с. ш.; 3°00'–3°55' з. д.) — 1172 миль<sup>2</sup>.

На микрополигоне № 1 (рисунок 4.30), на глубине 100...150 м были отмечены скопления рыбы (предположительно путассу).

Оценка биомассы  $W$  была выполнена согласно руководству ВНИРО по проведению гидроакустических съёмок (Юданов и др., 1984) и руководству по использованию постпроцессинговой системы EP-500 (Simrad EP500, 1994). При построении планшета использовался геостатистический метод интерполяции Kriging (Cressie, 1990), как рекомендованный FAO метод построения полей распределения биомассы по результатам тралово-акустических съёмок.

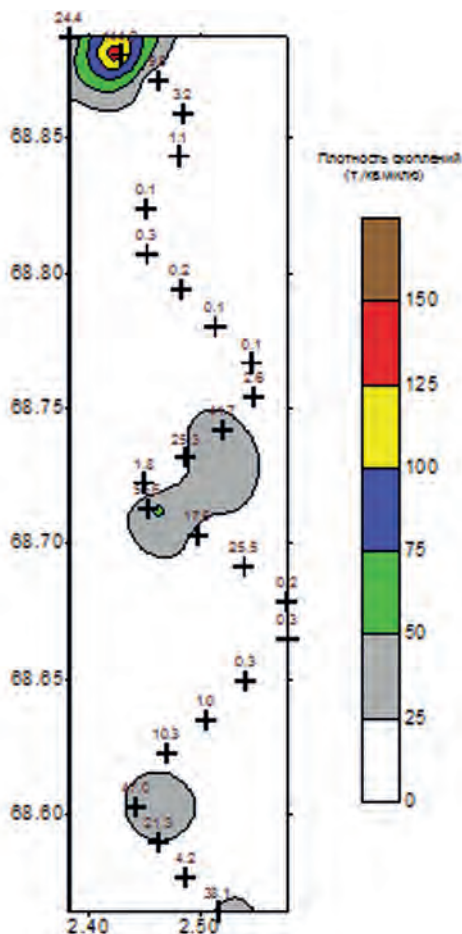
Обработка сигналов выполнялась на постпроцессинговой системе EP-500 методом эхоинтегрирования. Полученные в результате значения эффективного обратного рассеяния  $Sa$  (м<sup>2</sup>/миля<sup>2</sup>) переводились в значения поверхностной плотности рыбы ( $\tau$ /миля<sup>2</sup>) по следующей формуле (Simrad EP500, 1994):

$$p = \frac{Sa \cdot w_{\text{cp}} \cdot 10^{-6}}{\sigma_{\text{cp}}},$$

где  $w_{\text{cp}}$  — средняя масса одной рыбы (г);  $\sigma_{\text{cp}}$  — среднее акустическое сечение обратного рассеяние рыб (м<sup>2</sup>).

В свою очередь акустическое сечение определяется через формулу (Юданов и др., 1984) для силы цели  $TS$  (дБ):

$$TS = 10 \cdot \lg \frac{\sigma_{\text{cp}}}{4\pi}.$$



Градации (т./кв.милю)	Площадь градации (кв.миль)	Плотность скопления (т./кв.милю)	Биомасса (тонн)
0-25	67,3	9,1	612,4
25-50	11,1	32,1	356,6
50-75	1,2	60,6	72,1
75-100	0,8	86,1	53,4
100-125	0,4	110,6	48,7
125-150	0,1	131,0	13,1
<b>Сумма:</b>	<b>88,9</b>		<b>1156,3</b>

**Рисунок 4.30.** Распределение скопления путассу ( $L_{cp} = 20$  см;  $M_{cp} = 46$  г).  
Микрополигон. 11.07–12.07.1997

Для пересчёта  $l_{cp}$  (см) — длины рыбы (биологическая характеристика) в соответствующую ей силу цели (акустическая характеристика отражательной способности рыбы) использовалось следующее уравнение:

$$TS = 21,8 \cdot \lg l_{cp} - 72,7.$$

Средние значения длины  $l_{cp}$  и массы  $w_{cp}$  одной рыбы определялись по данным промысловых советов, так как использование длительности импульса в 2 мс (long) не позволило корректно оценить силу цели объектов в скоплении средствами эхолота EY500 (рисунки 4.31–4.36). Применение более короткого импульса в данном диапазоне глубин было нецелесообразно из-за недостаточной выходной мощности аппарата.

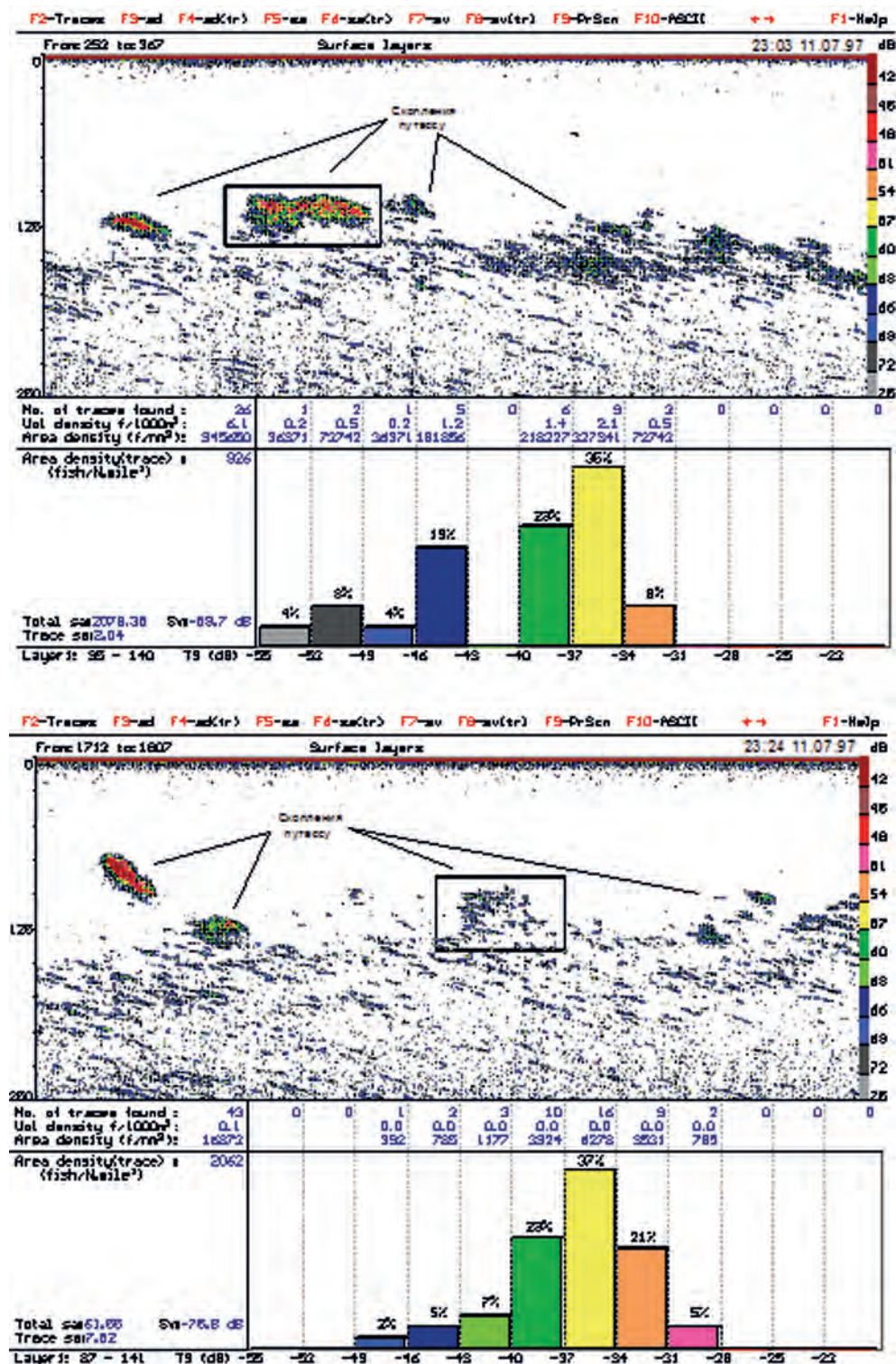


Рисунок 4.31. Эхограммы с записью скоплений путассу, сделанные в ночное время суток. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 2,0 мс; интервал — 0,5 с; максимальная мощность — 637 Вт

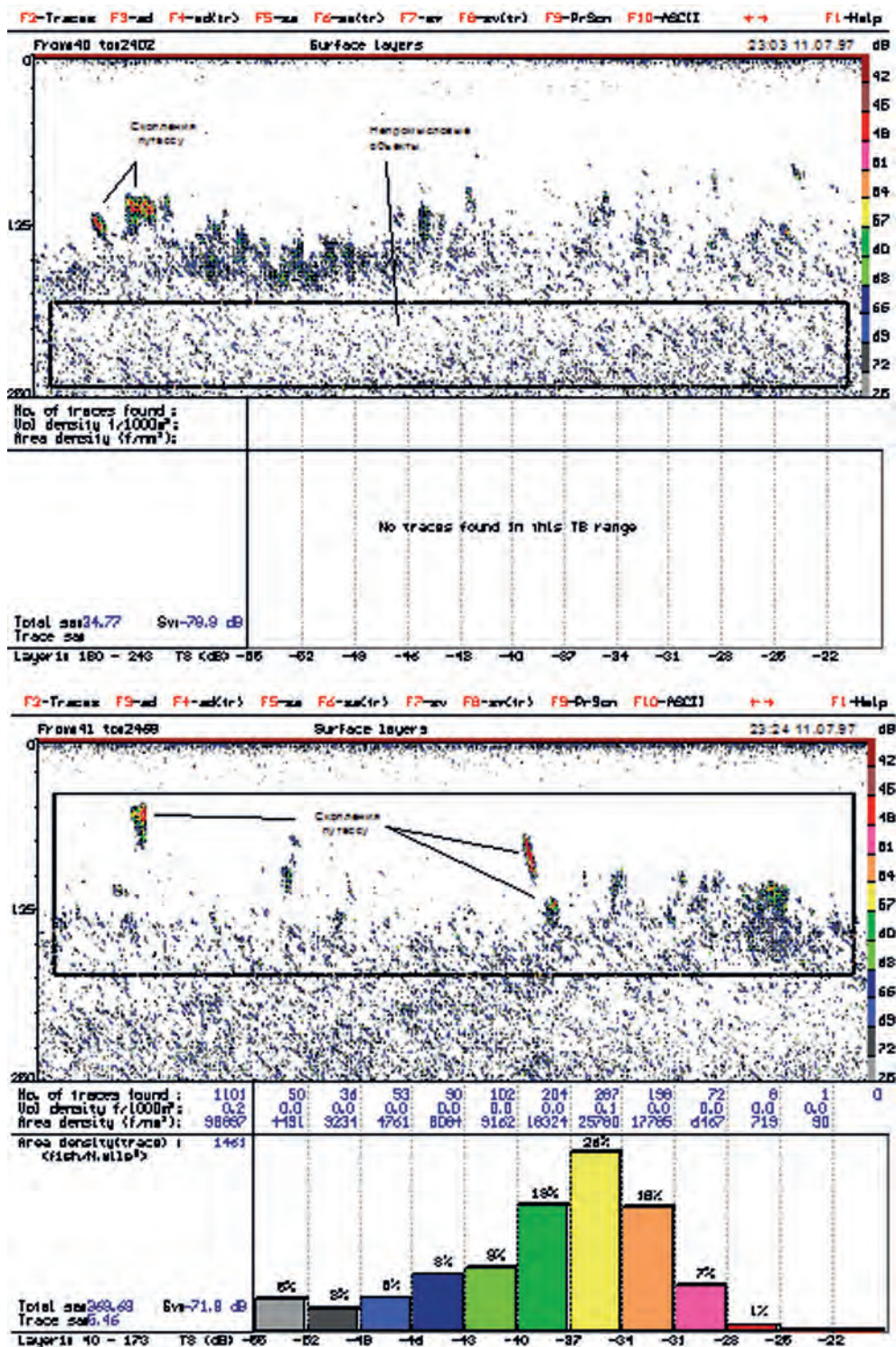


Рисунок 4.32. Эхограммы с записью скопления путассу, полученные при помощи программы постпроцессорной обработки EP500. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 2,0 мс; интервал — 0,5 с



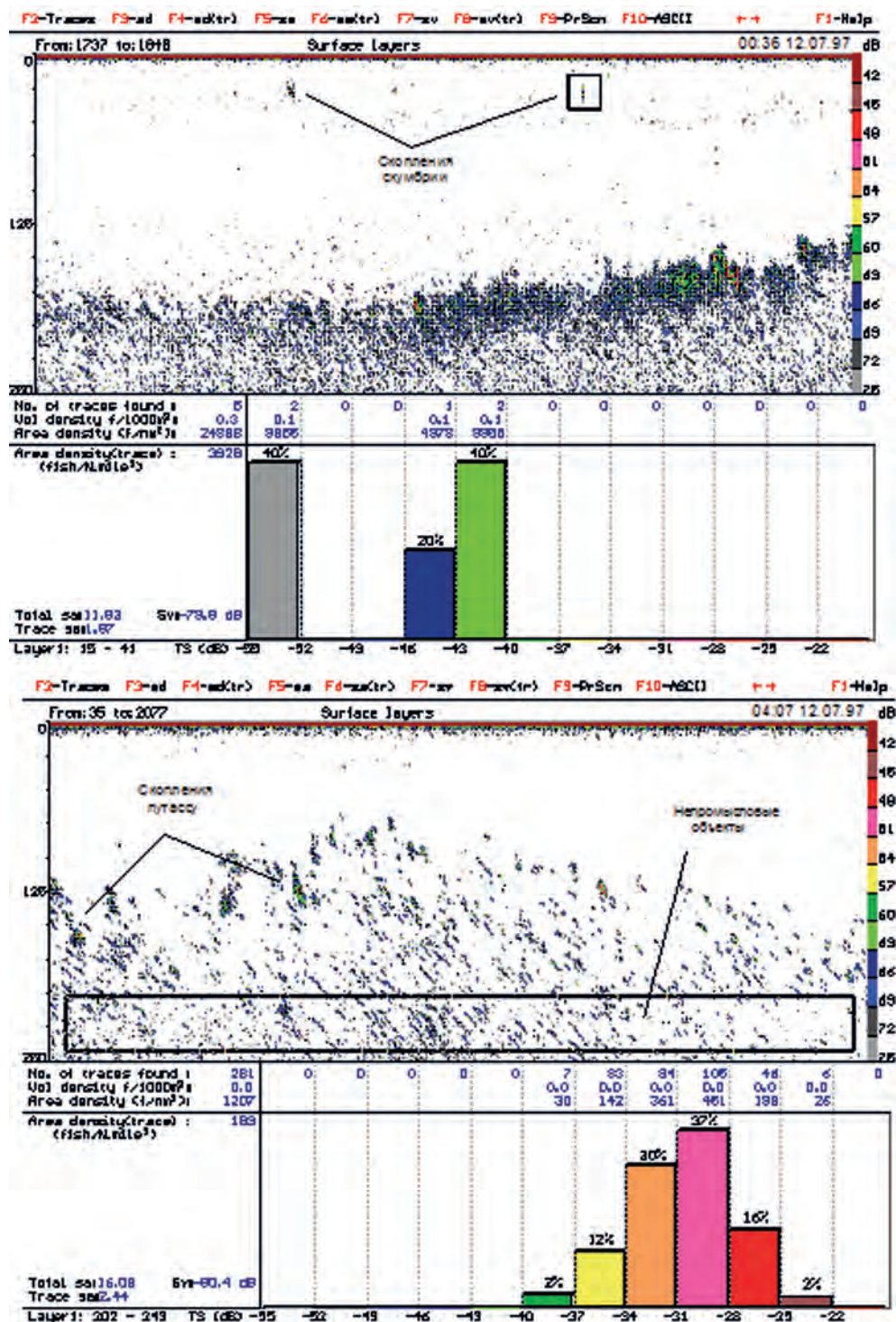


Рисунок 4.33. Эхограммы с записью скоплений скумбрии и тунца, полученные при помощи программы постпроцессорной обработки EP500. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 2,0 мс; интервал — 0,5 с

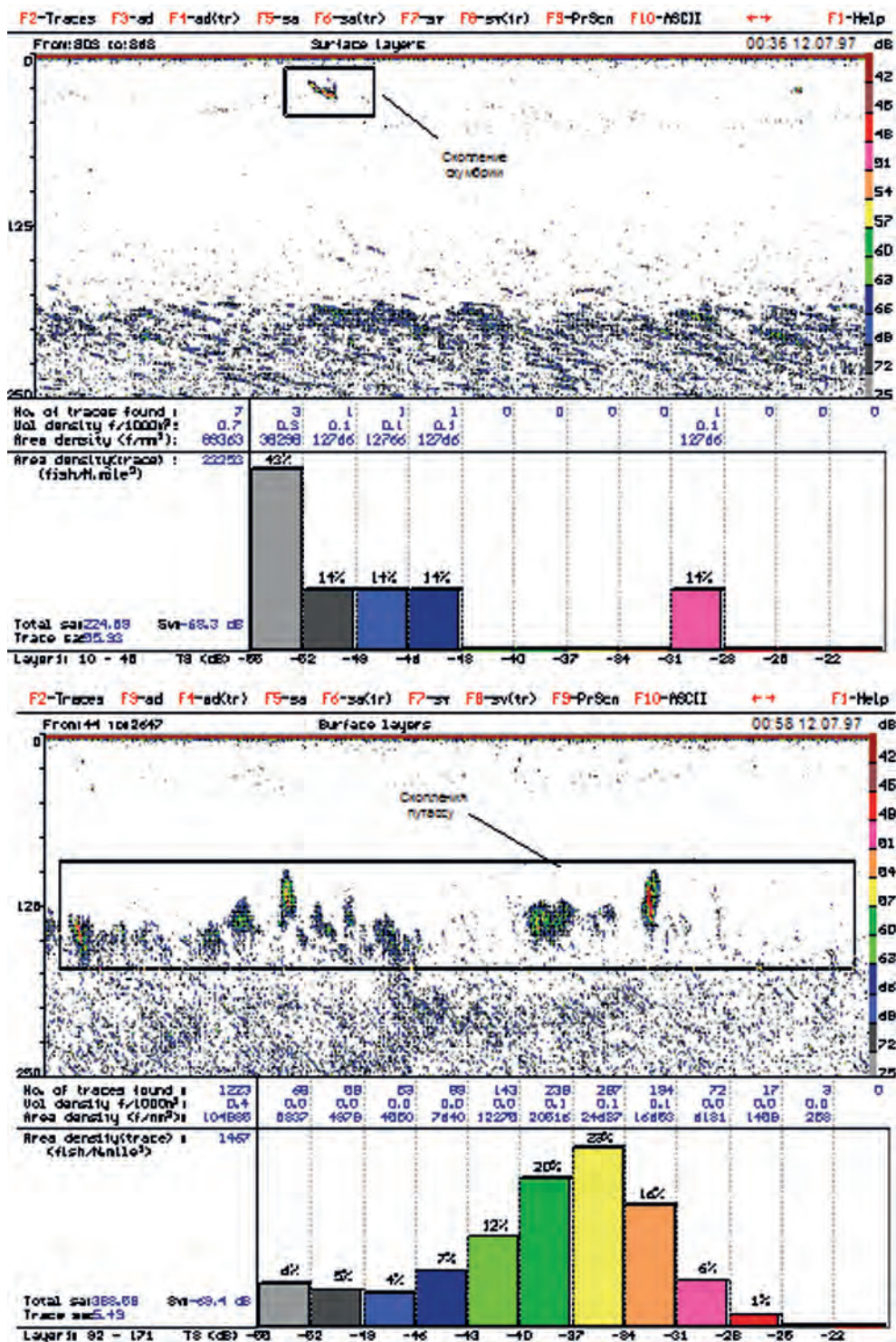


Рисунок 4.34. Эхограммы с записью скоплений скумбрии и путассу, полученные при помощи программы постпроцессорной обработки EP500. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 2,0 мс; интервал — 0,5 с

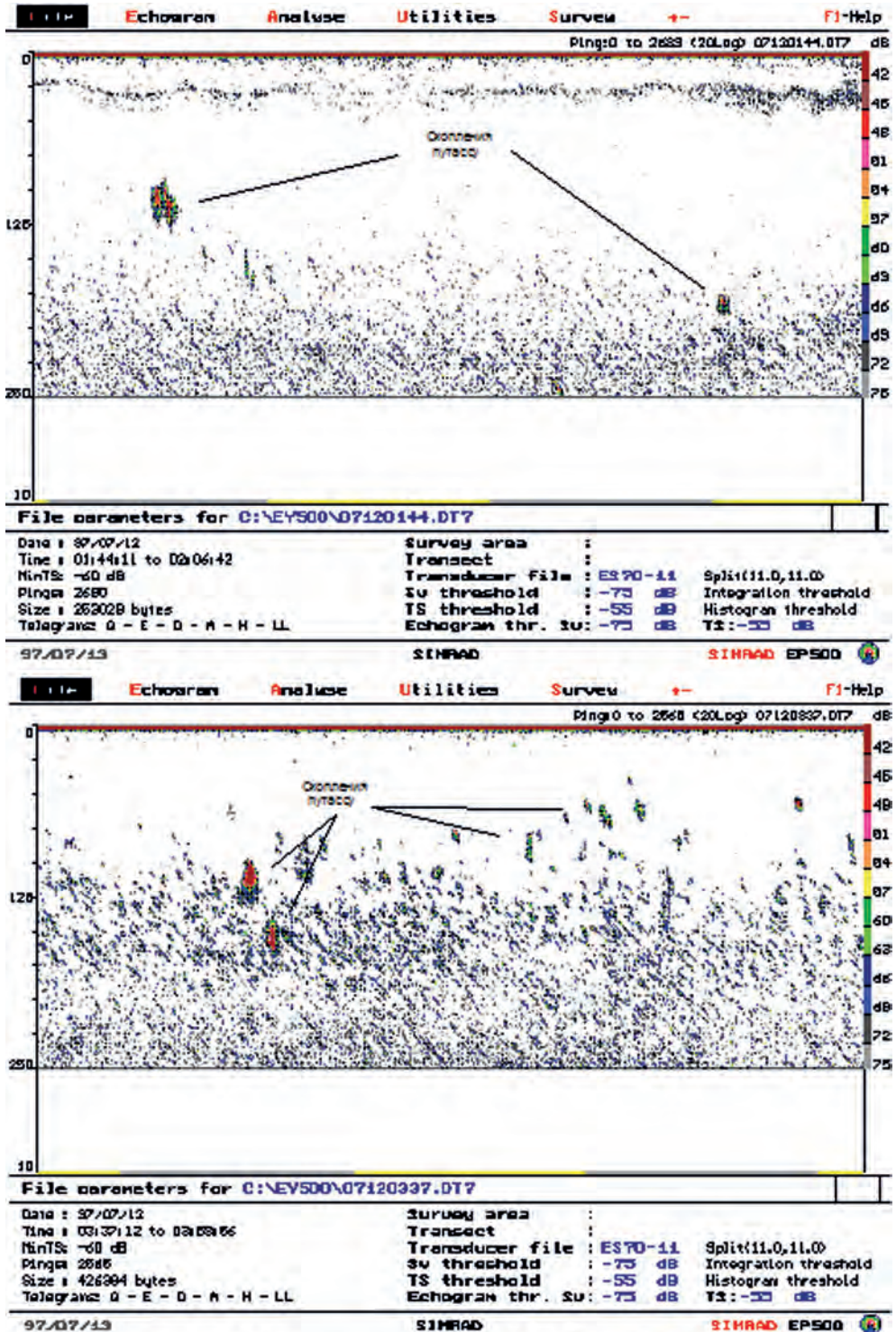


Рисунок 4.35. Эхограммы с записью скоплений путассы, полученные при помощи программы постпроцессорной обработки EP500. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 2,0 мс; интервал — 0,5 с

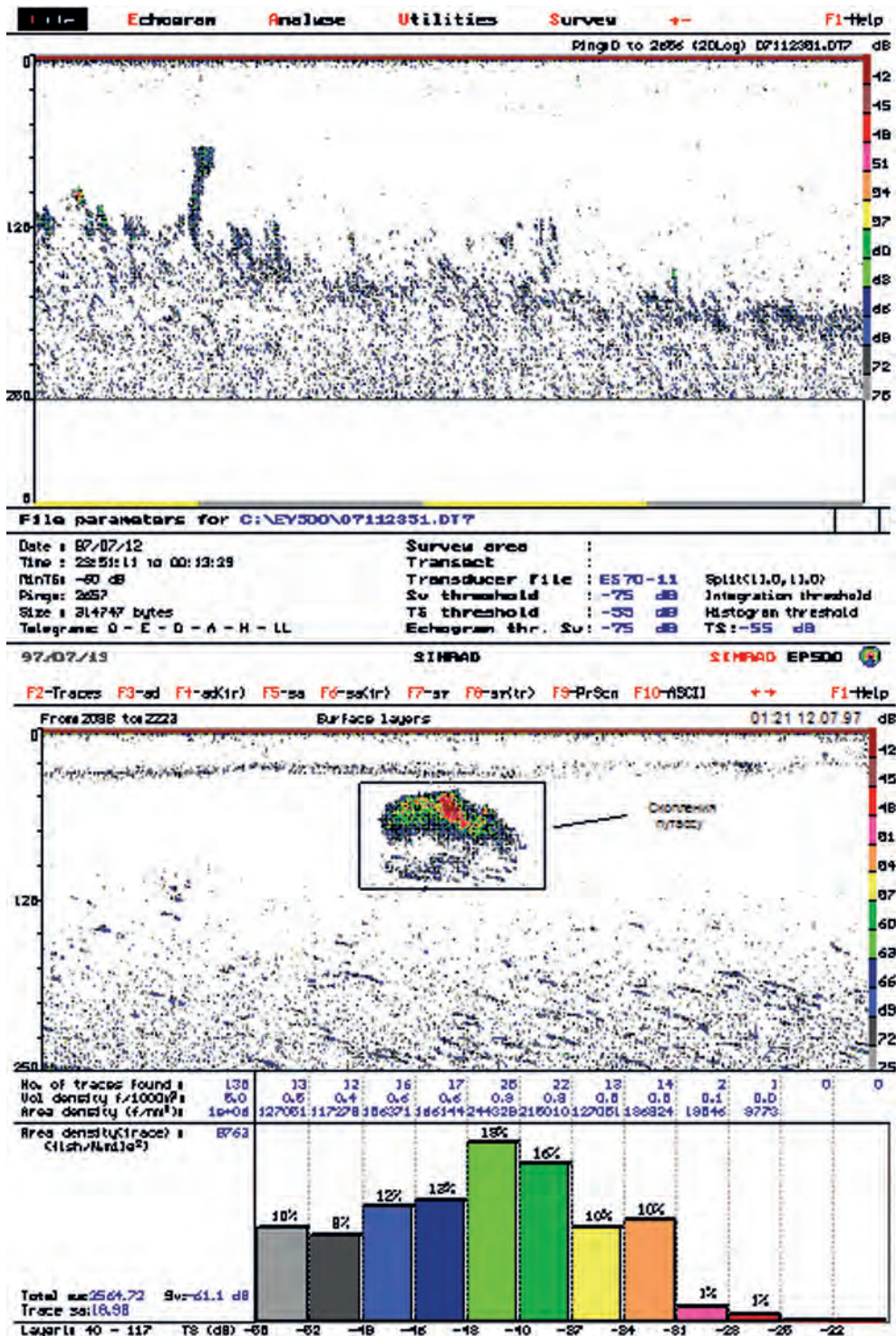
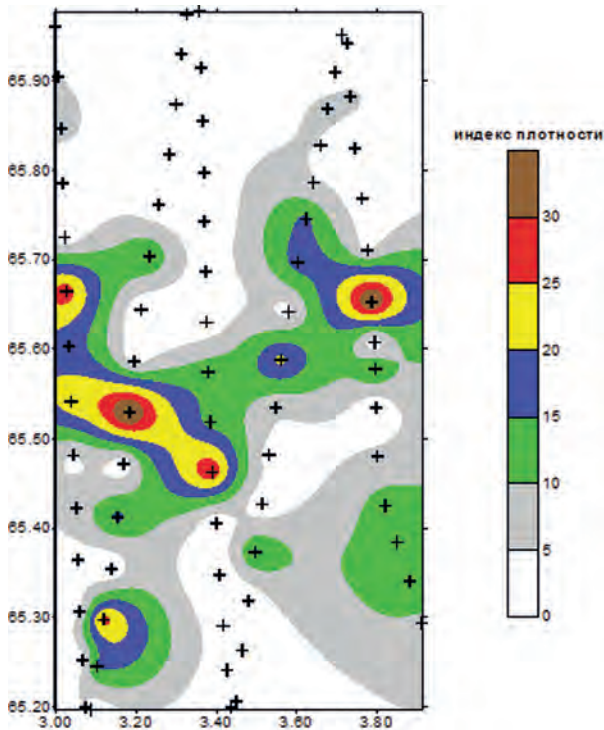


Рисунок 4.36. Эхограммы с записью скопления путассу, полученные при помощи программы постпроцессорной обработки EP500. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 2,0 мс; интервал — 0,5 с

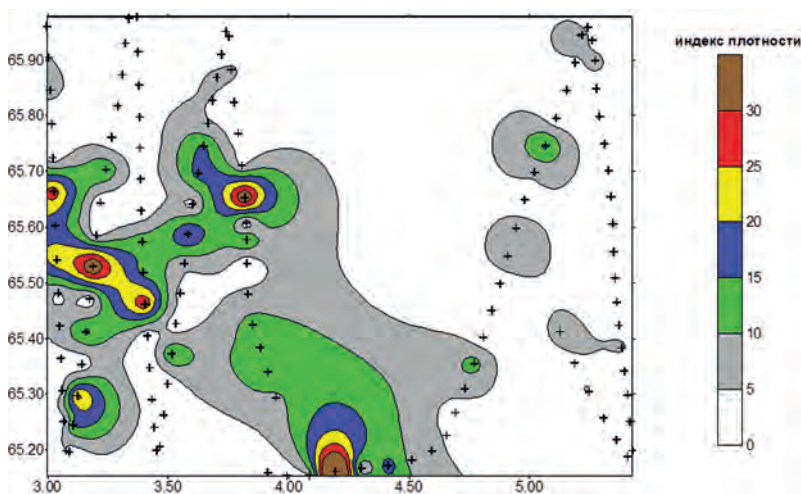
Для оценки биомассы были взяты значения  $l_{cp} = 20$  см,  $w_{cp} = 46$  г.

Следует отметить, что распределение скоплений путассу имело пятнистый характер (рисунок 4.30). Оценка величины биомассы на полигоне в 86,9 миль<sup>2</sup> составила 1156,3 т. Это значение является грубым приближением к действительной величине биомассы, так как отсутствие контрольных тралений на полигоне не позволяет точно определить ни процентное содержание путассу в рассматриваемом слое, ни размерно-весовой состав объектов.

Проведение эхосъёмки на микрополигоне № 2 позволило оконтурить скопления скумбрии (рисунки 4.37 и 4.38) и проследить поведение рыбы в разное время суток.



**Рисунок 4.37.** Распределение скоплений скумбрии, микрополигон № 2. 19.07–22.07.1997



**Рисунок 4.38.** Распределение скоплений скумбрии, подспутниковые полигоны № 1, 2. 19.07–22.07.1997

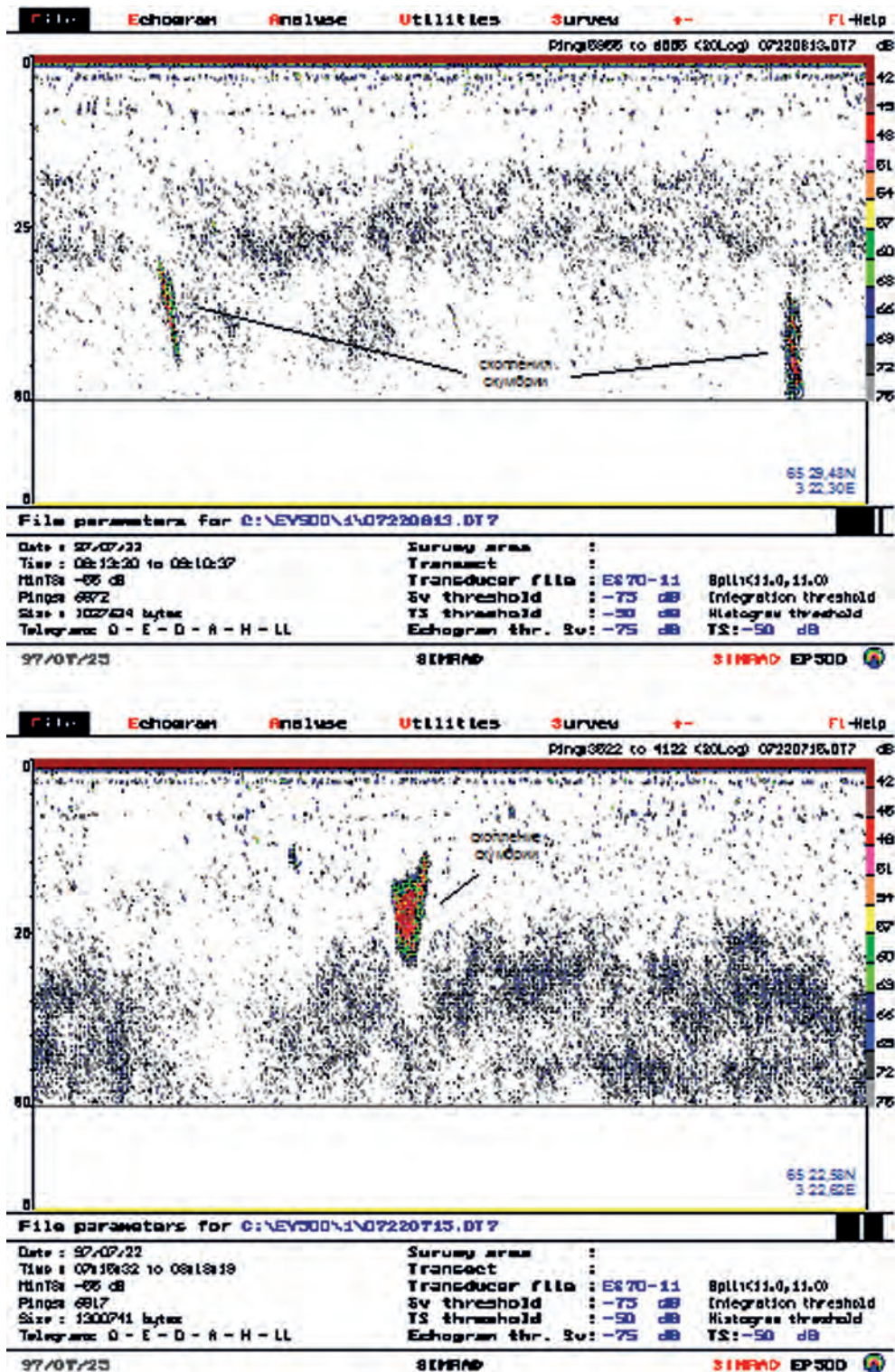


Рисунок 4.39. Эхограммы с записью скоплений скумбрии, сделанные в утреннее время суток. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 0,6 мс; интервал — 0,5 с; максимальная мощность — 637 Вт

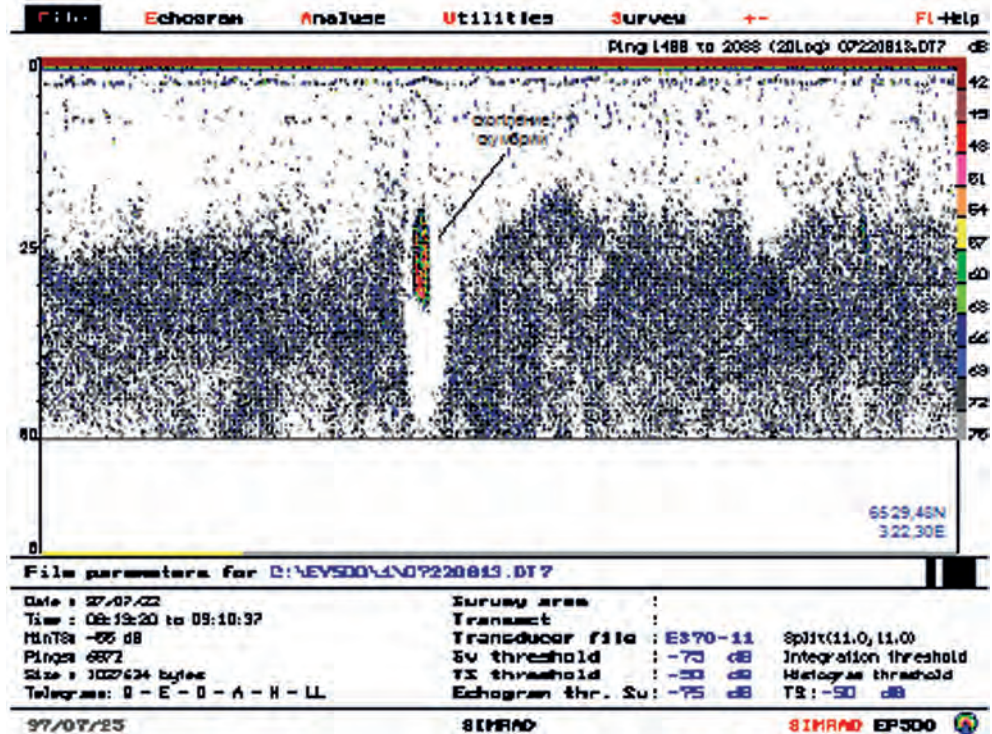
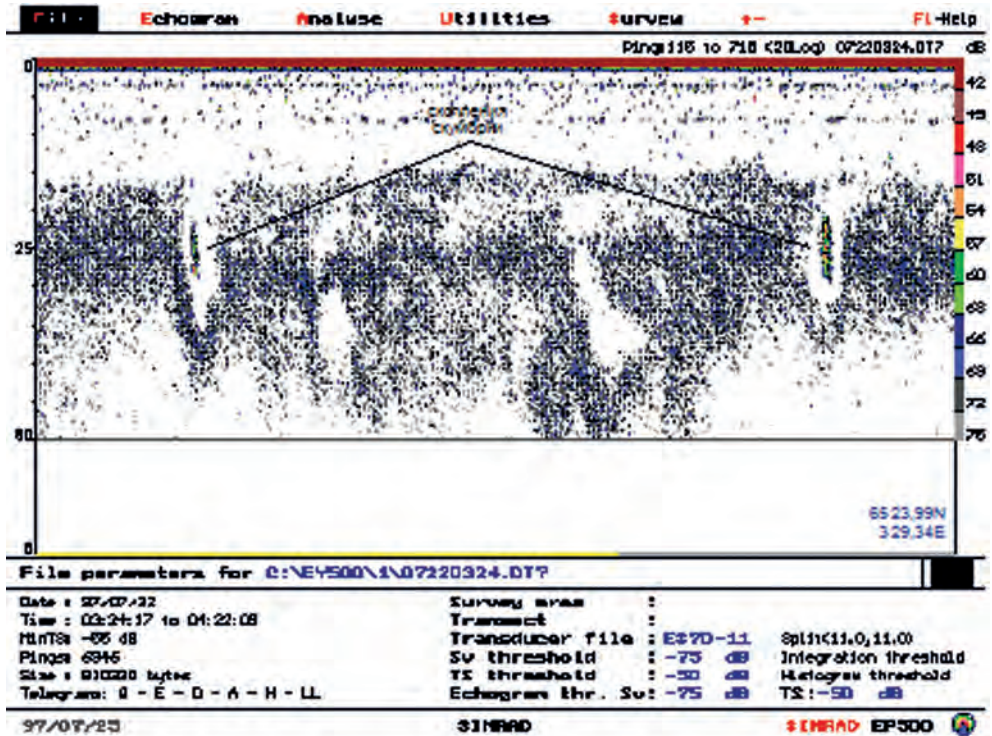


Рисунок 4.40. Эхограммы с записью скоплений скумбрии в звукорассеивающем слое. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя: ES-70-11; длительность импульса — 0,6 мс; интервал — 0,5 с; максимальная мощность — 637 Вт

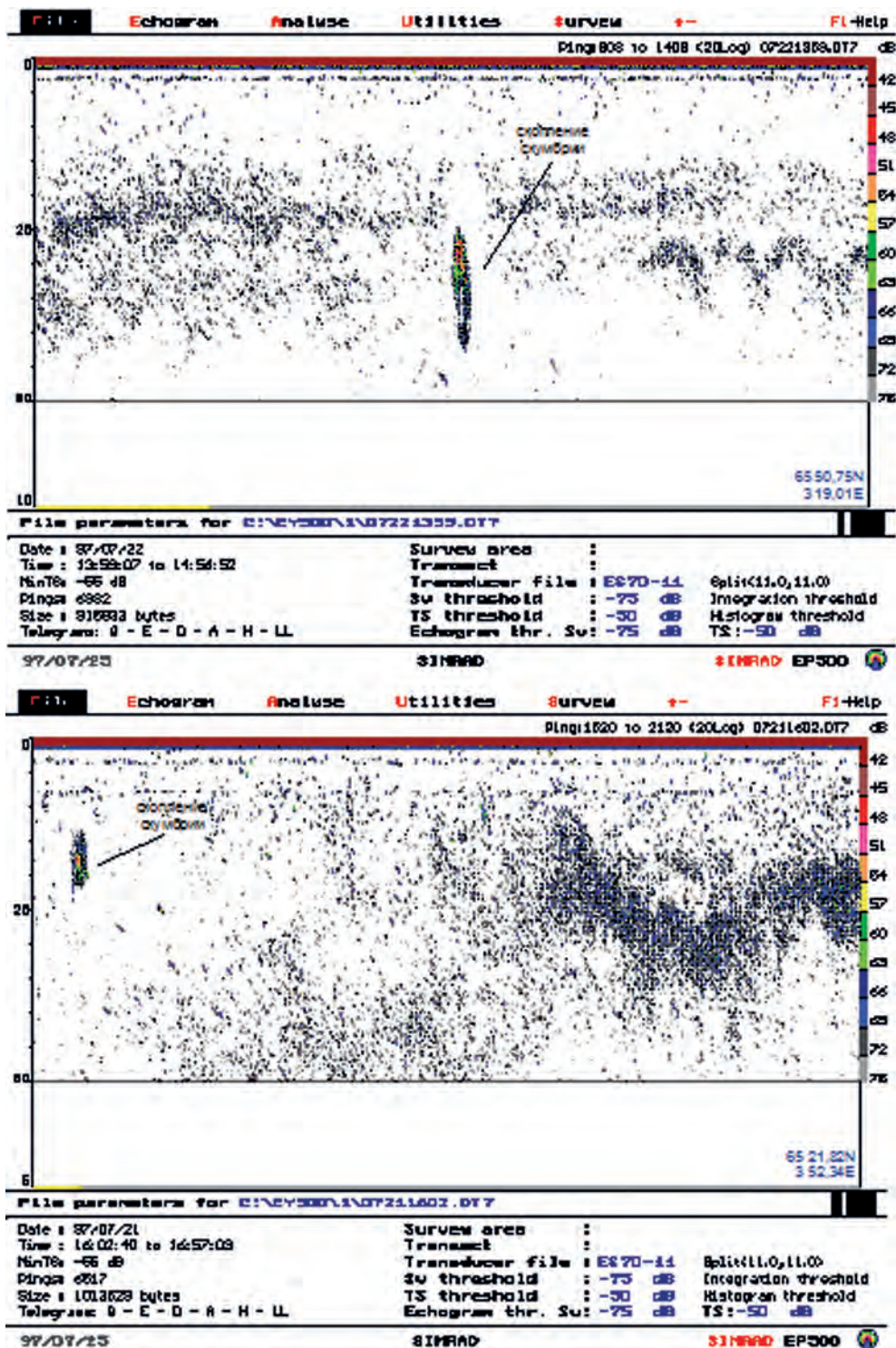


Рисунок 4.41. Эхограммы с записью скоплений скумбрии, сделанные в дневное время суток. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 0,6 мс; интервал — 0,5 с; максимальная мощность — 637 Вт



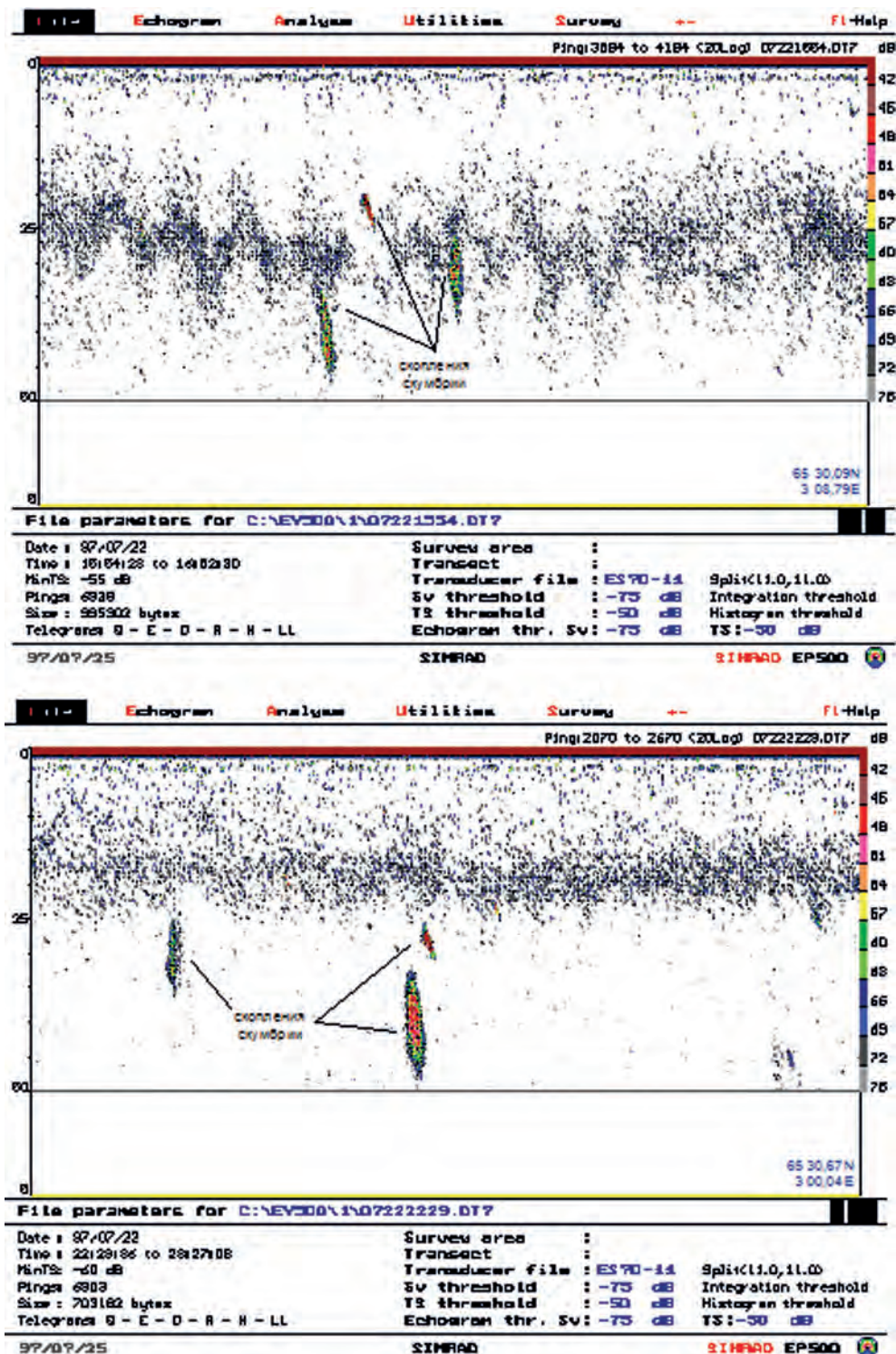


Рисунок 4.42. Эхограммы с записью скоплений скумбрии, сделанные в дневное и ночное время суток. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 0,6 мс; интервал — 0,5 с; максимальная мощность — 637 Вт

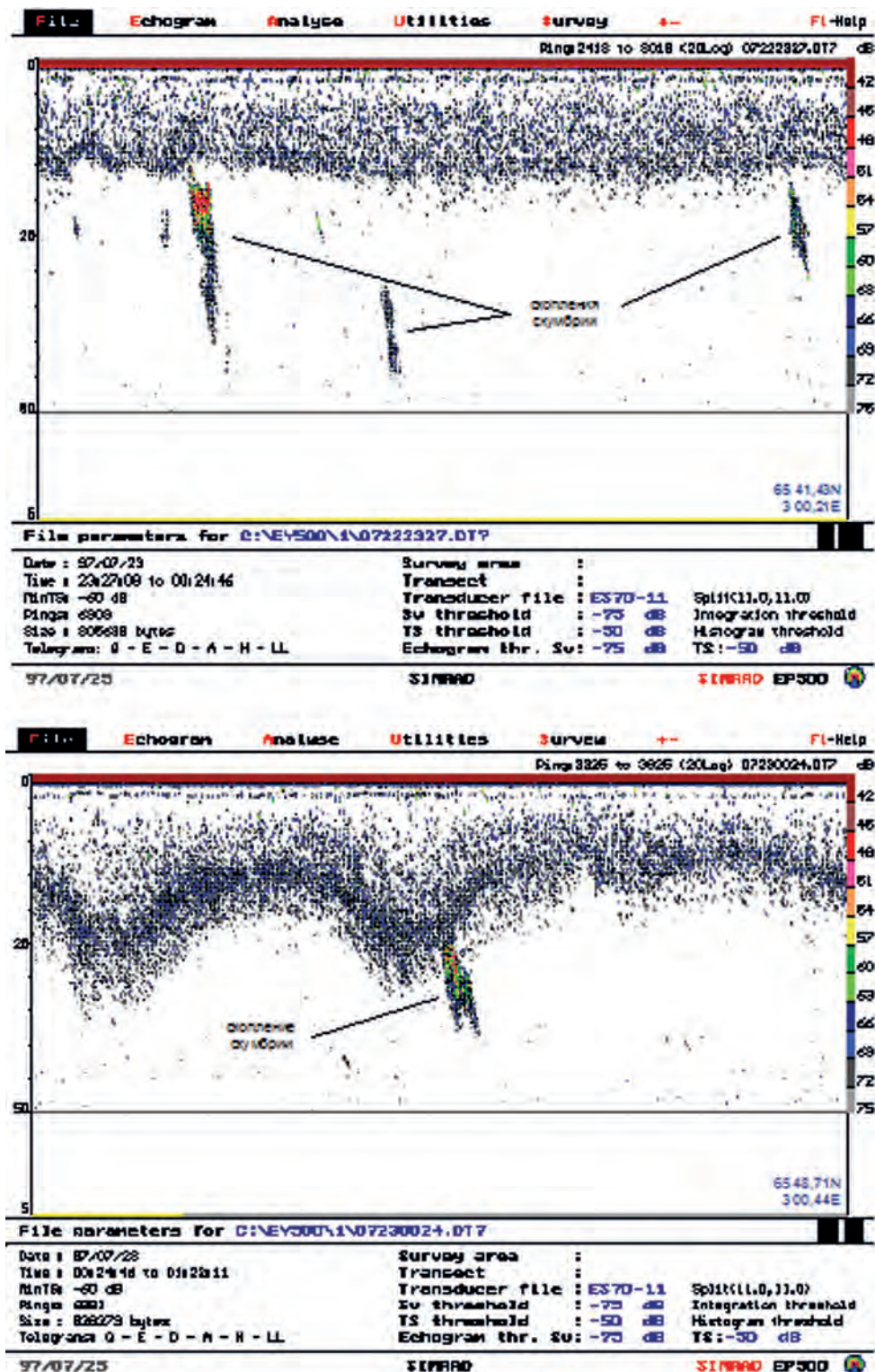


Рисунок 4.43. Эхограммы с записью скопления скумбрии в ночное время суток. Эхолот Simrad EY-500 — 70 кГц; тип измерительного преобразователя — ES-70-11; длительность импульса — 0,6 мс; интервал — 0,5 с; максимальная мощность — 637 Вт

По результатам предварительного анализа эхограмм, следует отметить, что дислокация косяков скумбрии в слое оставалась постоянной, слабо зависящей от времени суток. На рисунках 4.39–4.43 приведены характерные записи скоплений скумбрии в разное время суток, воспроизведённые постпроцессинговой системой. Изменение цвета скоплений на эхограммах от серого до красного соответствует увеличению объёмной плотности скоплений. Как правило, но не всегда, скопления регистрировались в слое 10...30 м, с протяжённостью по горизонту 5...20 м и 10...20 м — по глубине. В ночное время суток наблюдалось рассредоточение скоплений в объёме, однако, как форма, так и их местоположение оставались практически постоянными.

## 4.5. ВЫВОДЫ

В результате работ выполненных в рамках Эксперимента в части инструментальных океанографических, гидрологических и гидроакустических исследований на НИС «Академик Борис Петров» были можно отметить:

Совместное использование при проведении фоновой съёмки зондирующей и буксируемой аппаратуры позволило с одной стороны более корректно строить карты распределения гидрологических, гидрохимических и гидробиологических параметров водной среды в слое 0...50 м, а с другой использование данных полученных на станциях зондирующей аппаратурой позволяло минимизировать динамические погрешности буксируемого измерителя при обработке его информации.

Использование буксируемого измерителя в рамках эксперимента позволило не только оперативно обнаруживать градиентные зоны и вихри, но и проводить оперативные исследования этих образований в 50-метровом слое практически в реальном масштабе времени.

Реализация режима движения буксируемого носителя в 35-метровом слое, а не на одном горизонте, при скорости движения судна 6...7 узлов позволила параллельно с акустической съёмкой получить информацию о параметрах водной среды в слое обитания и нагула скумбрии.

Использование буксируемого измерителя при скорости движения судна 11...12 узлов позволило проводить исследования больших акваторий в короткие сроки и с высокой точностью измерения параметров водной среды, а на микрополигонах, кроме того, исследовать синоптическую изменчивость в поверхностном слое.

Были отработаны методики проведения совместных инструментальных измерений, а также инструменты обработки данных, поскольку оперативный сбор первичной информации буксируемым измерителем в удобной для анализа форме уже в процессе выполнения полигонов, особенно важен при проведении работ совместно с акустической съёмкой. Кроме того, были выработаны рекомендации по дооснащению комплексов для осуществления совместной работы:

- портативной GPS-системой с интерфейсом для бортового компьютера, что может позволить осуществлять привязку каждого измерения к координате осуществляется в режиме реального времени;
- дополнительным компьютером, связанным сетью с бортовым компьютером измерительного комплекса и оснащённым программами для обработки первичной информации и построения карт и разрезов исследуемых параметров.

# Глава 5. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Несмотря на относительно хорошую изученность средних гидрологических полей на различных участках акватории Норвежского моря, пространственная и временная изменчивость гидрофизических характеристик в пределах фронтальных зон исследована слабо.

Совершенно очевидно, что стандартные судовые океанологические данные не дают достаточной основы для такого исследования. Только привлекая данные спутников и самолёт-лаборатории можно подойти к описанию мезомасштабной пространственной изменчивости температуры, солёности, биогенных элементов и, как следствие изменения этих параметров, к анализу изменчивости биологических процессов.

## 5.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

К основным задачам гидрохимических исследований в рамках Эксперимента в Норвежском море относились следующие:

1. Исследование гидрохимической структуры открытой части Норвежского моря в районе Западной ветви Норвежского течения (ЗВНТ) и окружающих вод.
2. Определение валового содержания и концентрации органических соединений азота и фосфора, а также концентрации аммонийного азота, информации о пространственном распределении которых недостаточно для анализа изменчивости биологических процессов.
3. Определение гидрохимической основы биологической продуктивности, выделение лимитирующие фотосинтез водорослей биогенные элементы, оценка скорости их оборота в продукционно-деструкционном цикле.
4. Оценка возможности использования гидрохимических параметров для выявления фронтальных зон и мезомасштабных вихревых образований, а также определение направление вращения в этих вихрях и вертикальном переносе вод.
5. Прослеживание внедрения и распространения инородных вод на промежуточных глубинах вдоль изопикн по гидрохимическим характеристикам.

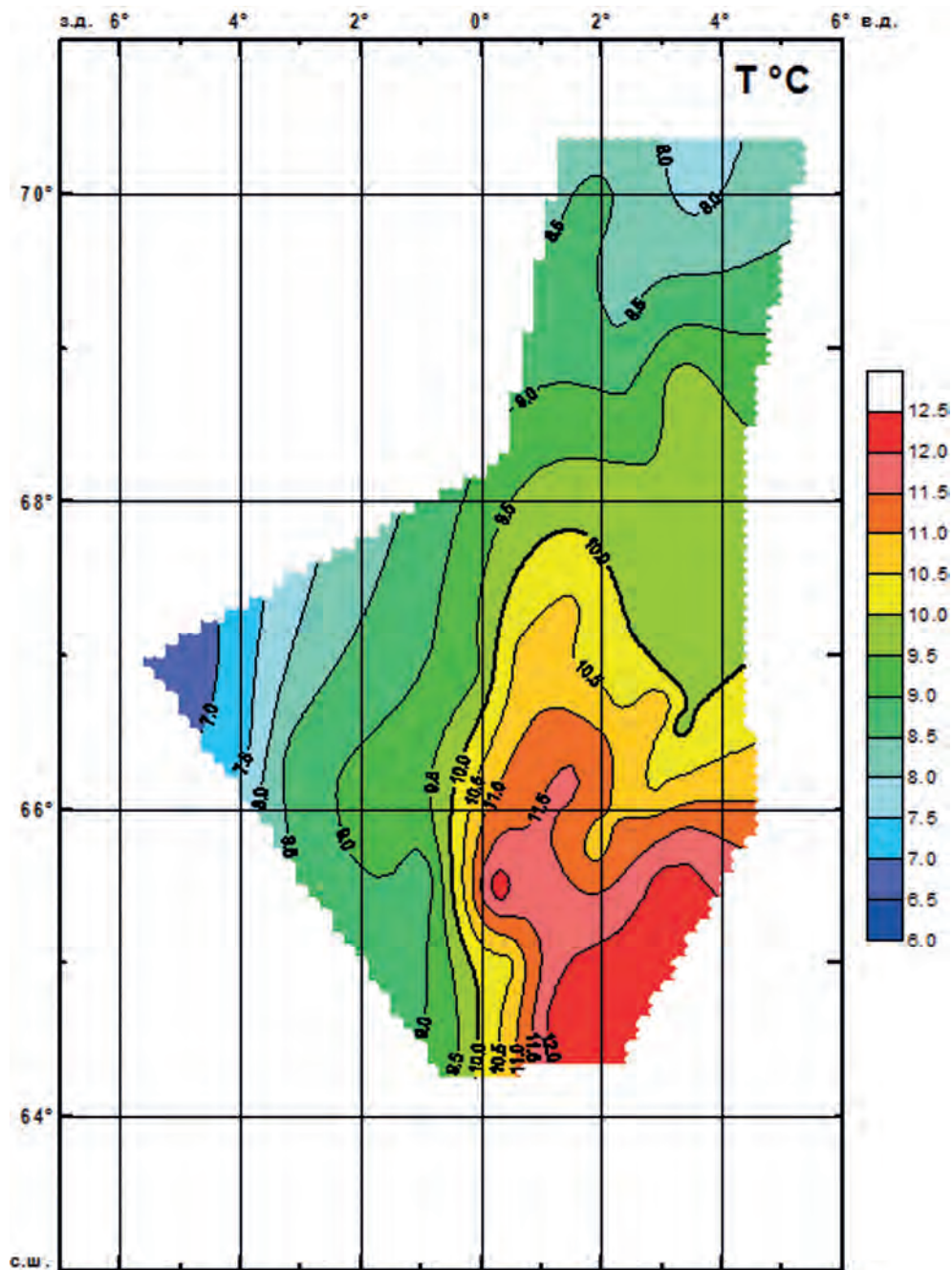
## 5.2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ

На 39 станциях был выполнен комплекс гидрохимических исследований, включающий в себя определение минерального и органического фосфора, кремнекислоты, аммонийного, нитритного, нитратного азота, а также азота органических соединений (рисунки 5.1–5.31).

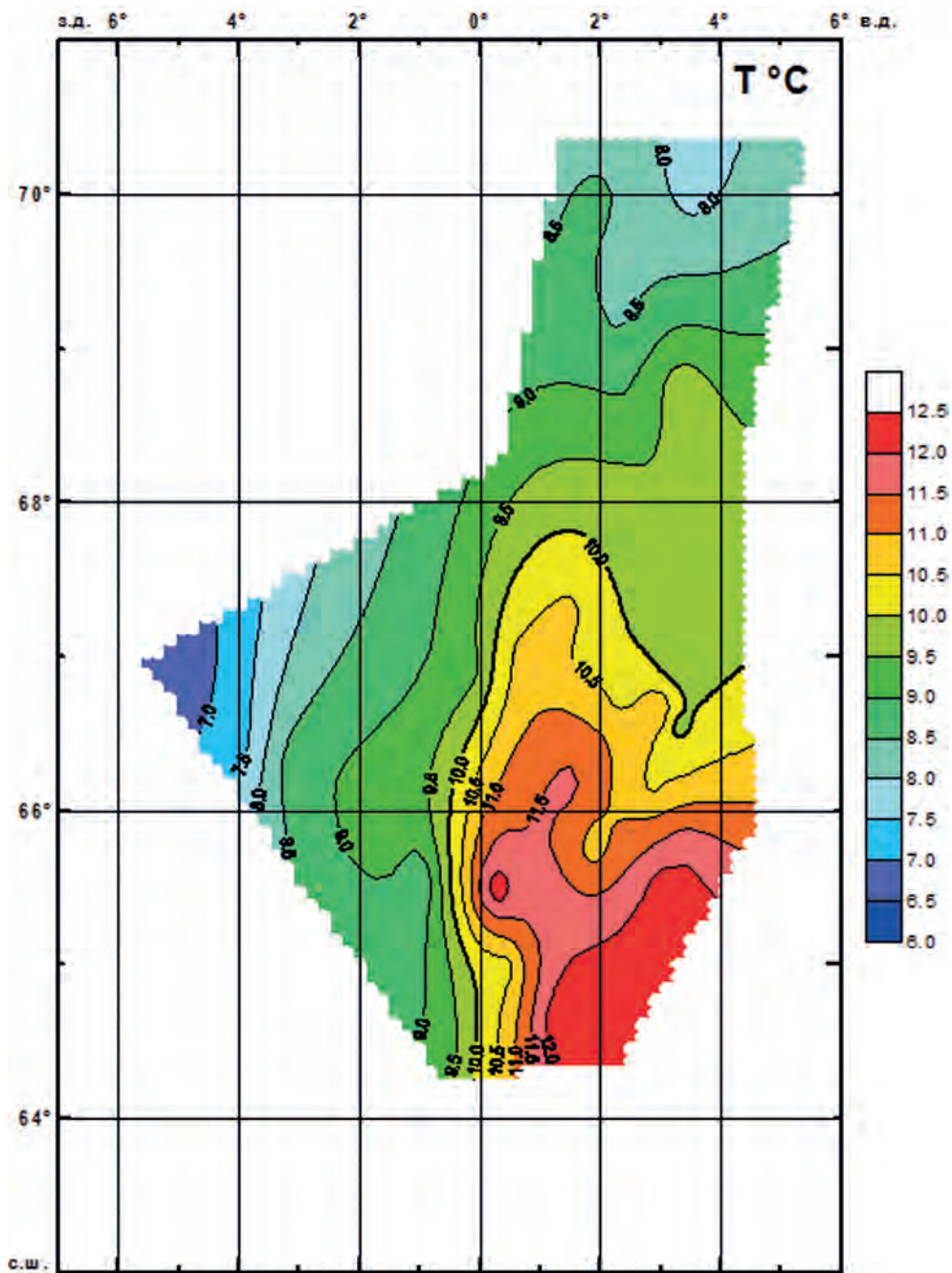
Пробы воды отбирали с учётом вертикального распределения температуры, солёности, растворенного кислорода и фитопигментов, используя при этом показания STD-зонда NeilBrown, оснащённого специальными датчиками с выходом получаемой информации на дисплей и кассетой из 24 пластиковых батометров типа Go-Flo.

Определение кремния, нитритного и нитратного азота, а также валового азота проводили на проточном автоанализаторе фирмы "Technicon" (США) по методикам, модернизированным применительно к данной аппаратуре.

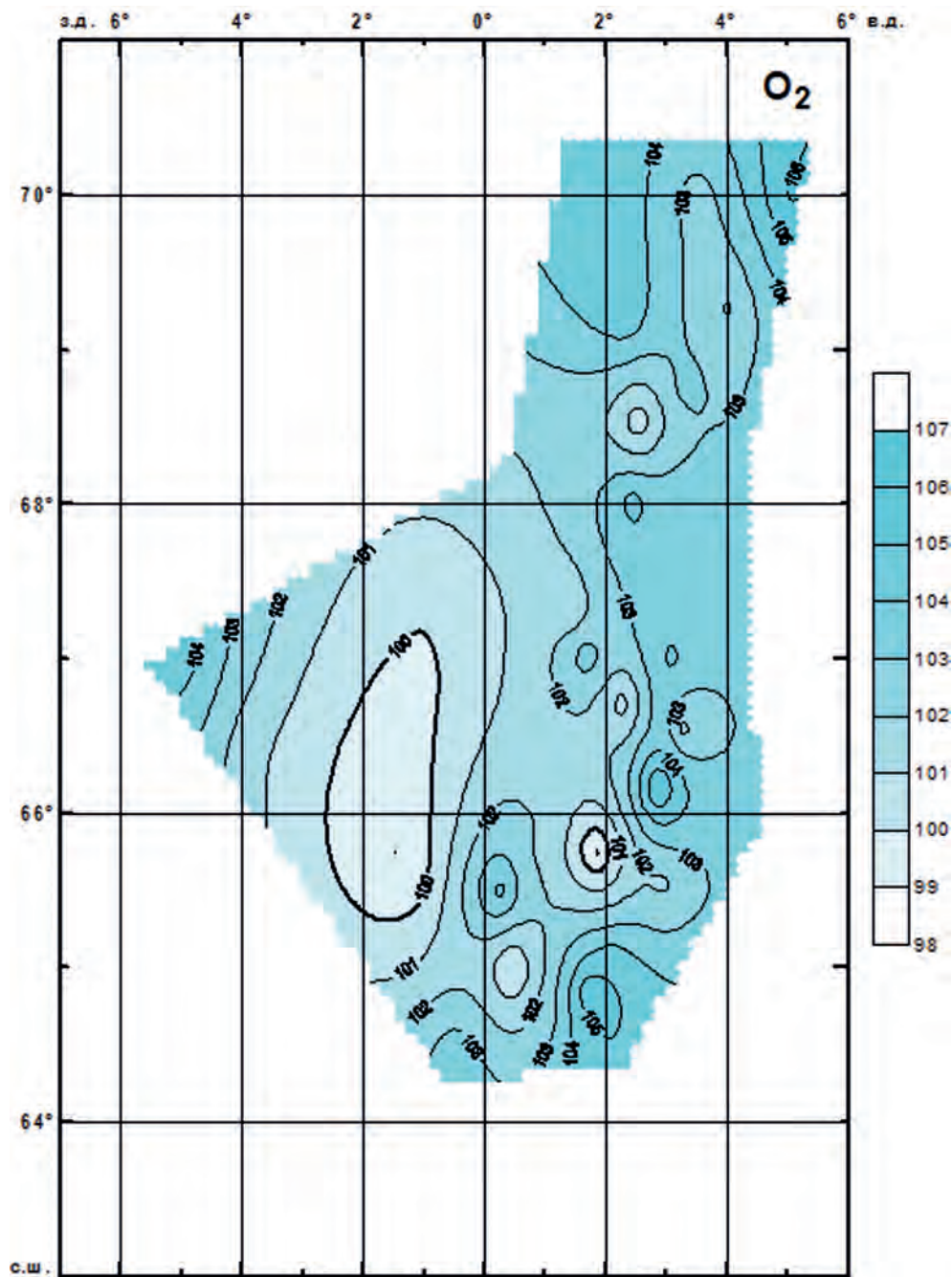
Для определения нитритного азота использовали его реакцию с сульфаниламидом и N-1-нафтилэтилендиамином с образованием окрашенных диазосоединений. При определении нитратного азота проба воды в токе аммиачного буфера вначале поступает в колонку с омеднённым кадмием, где происходит восстановление нитратного азота до нитритного, а затем проходит тот же путь определения, что и нитритный азот. Колориметрируют при длине волны 550 нм.



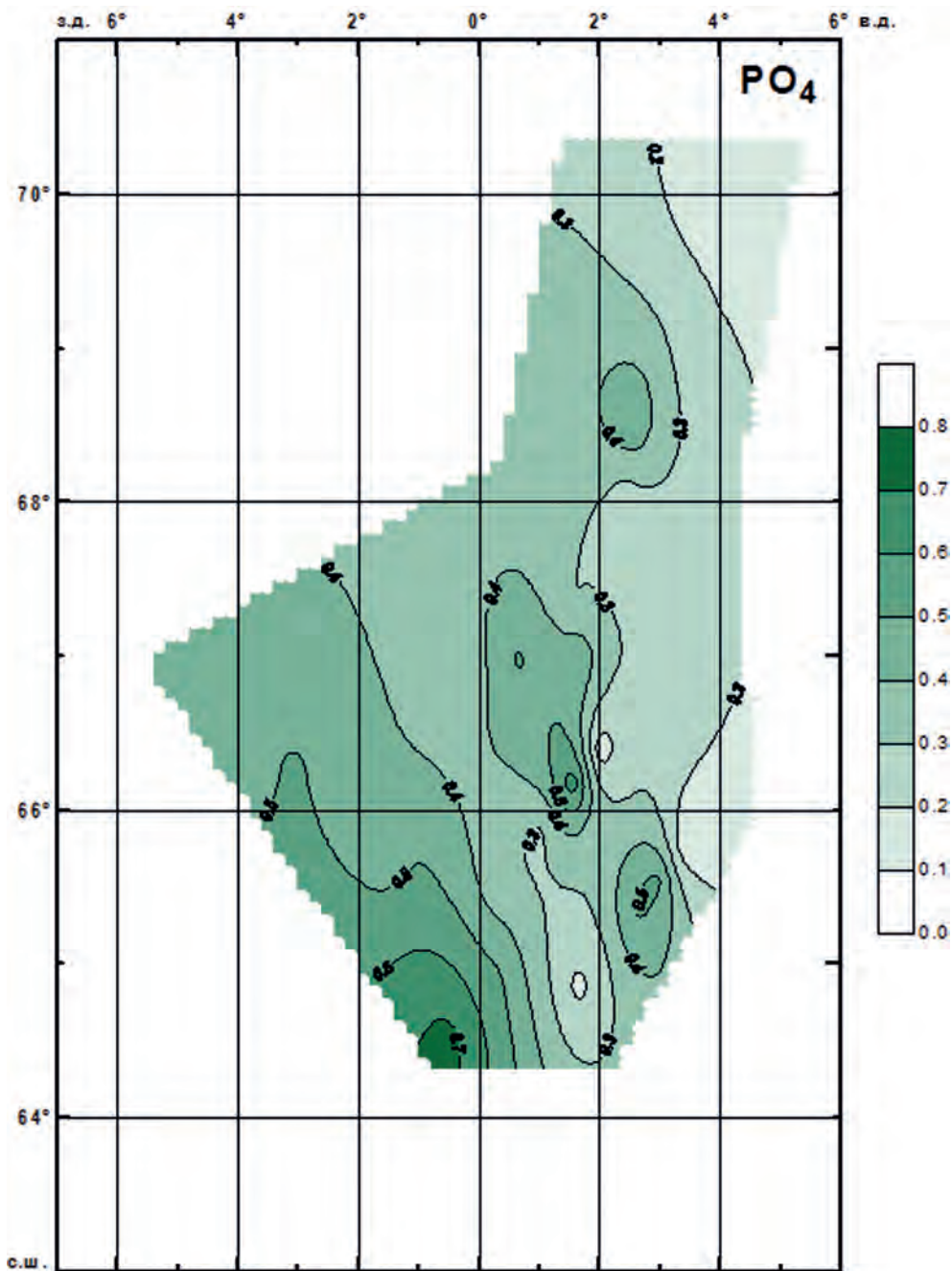
**Рисунок 5.1.** Распределение температуры поверхности океана (°C) по данным измерений на момент отбора гидрохимических проб в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.2.** Распределение растворенного кислорода (мл/л) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

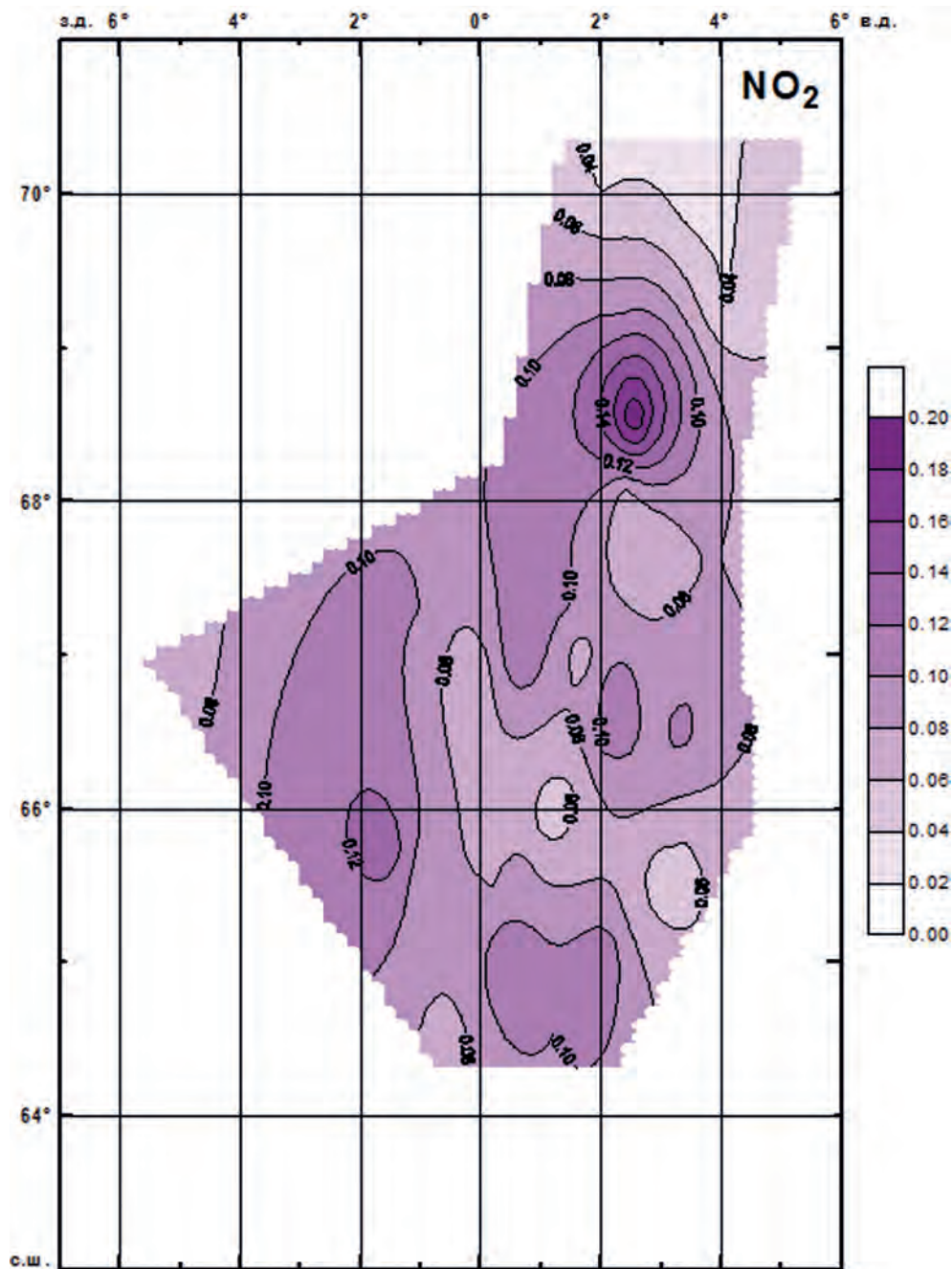


**Рисунок 5.3.** Распределение растворенного кислорода (%) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.4.** Распределение фосфатов (мкг-ат/л) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997





**Рисунок 5.5.** Распределение нитритов ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

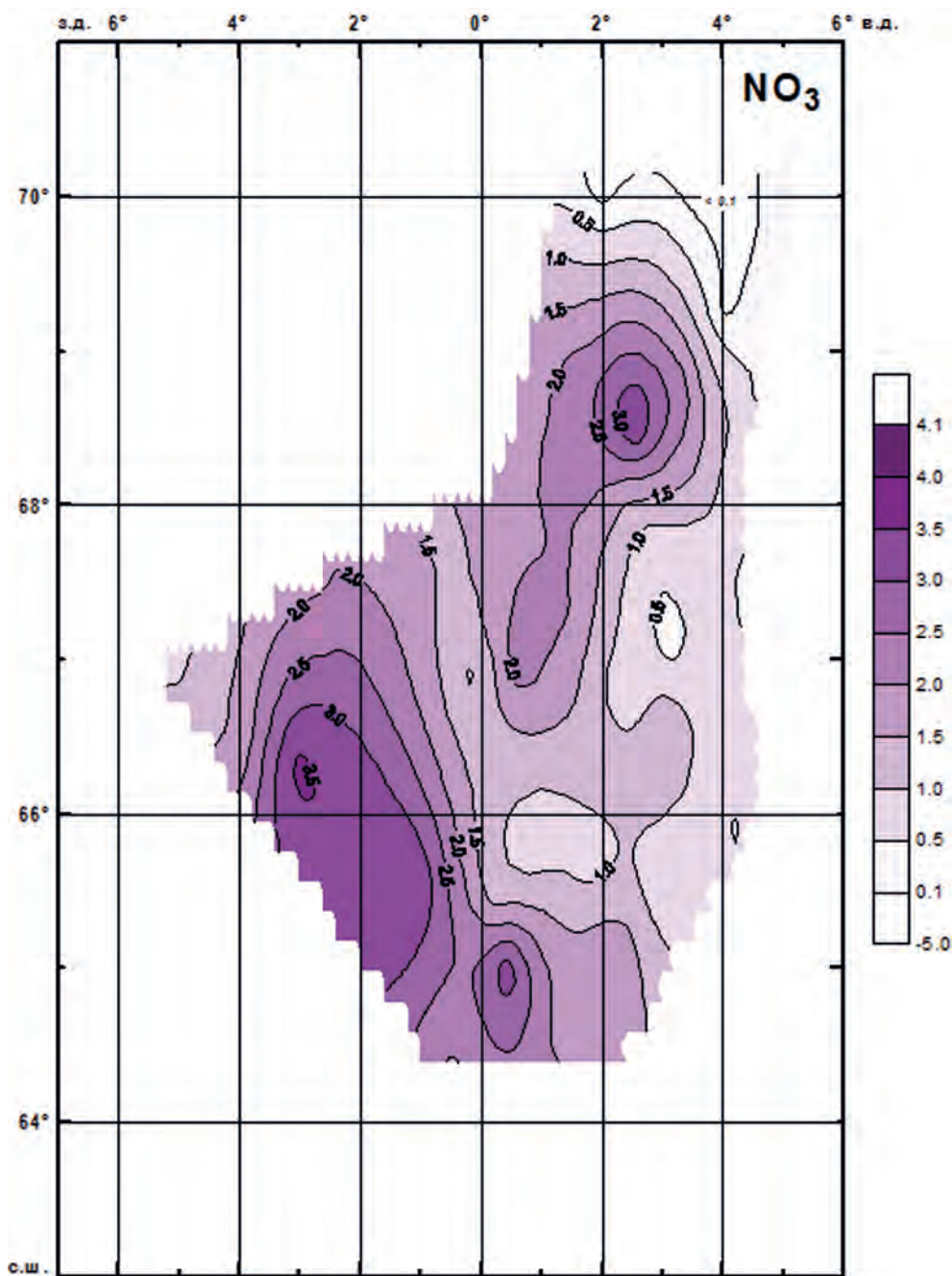
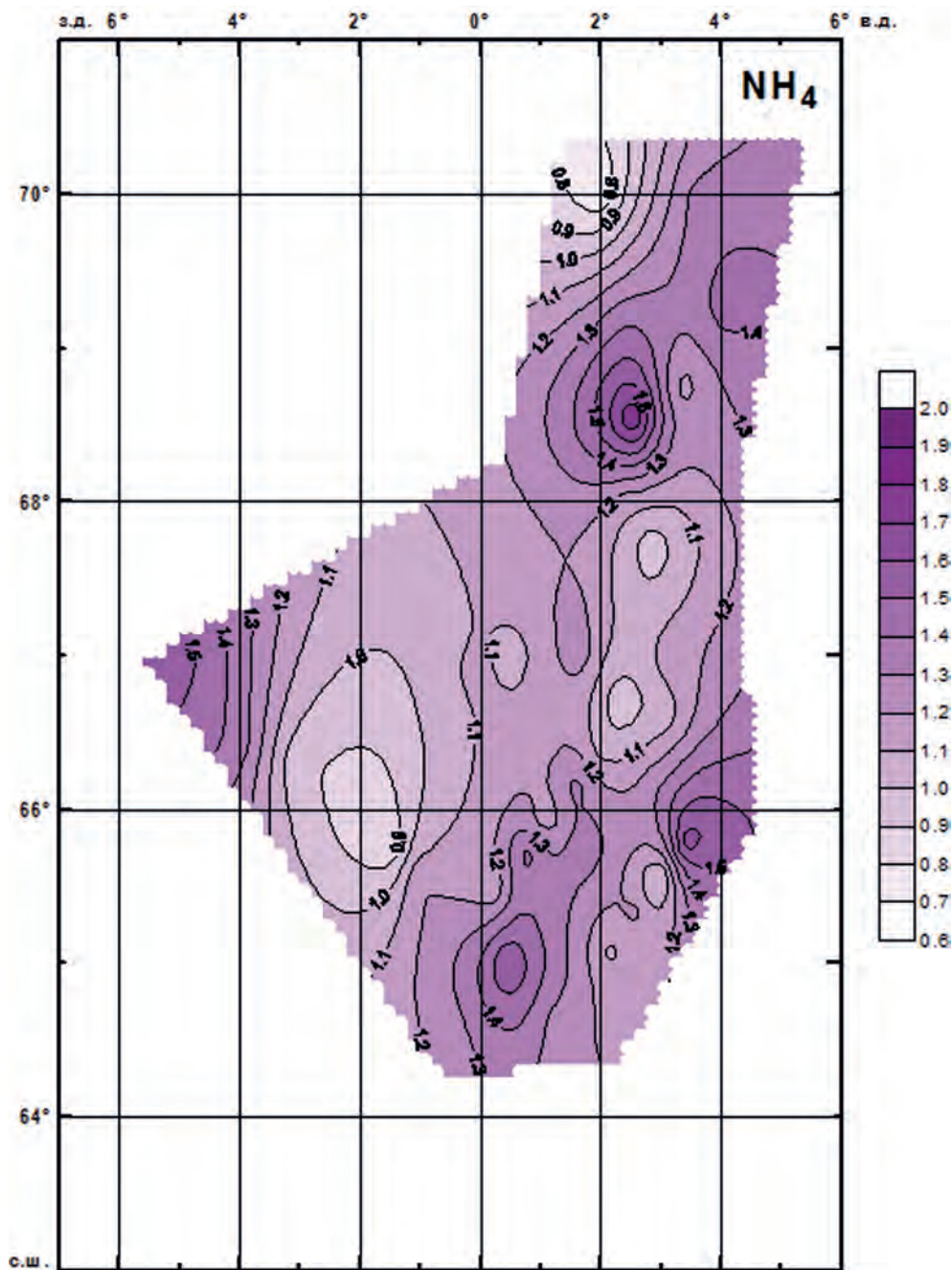
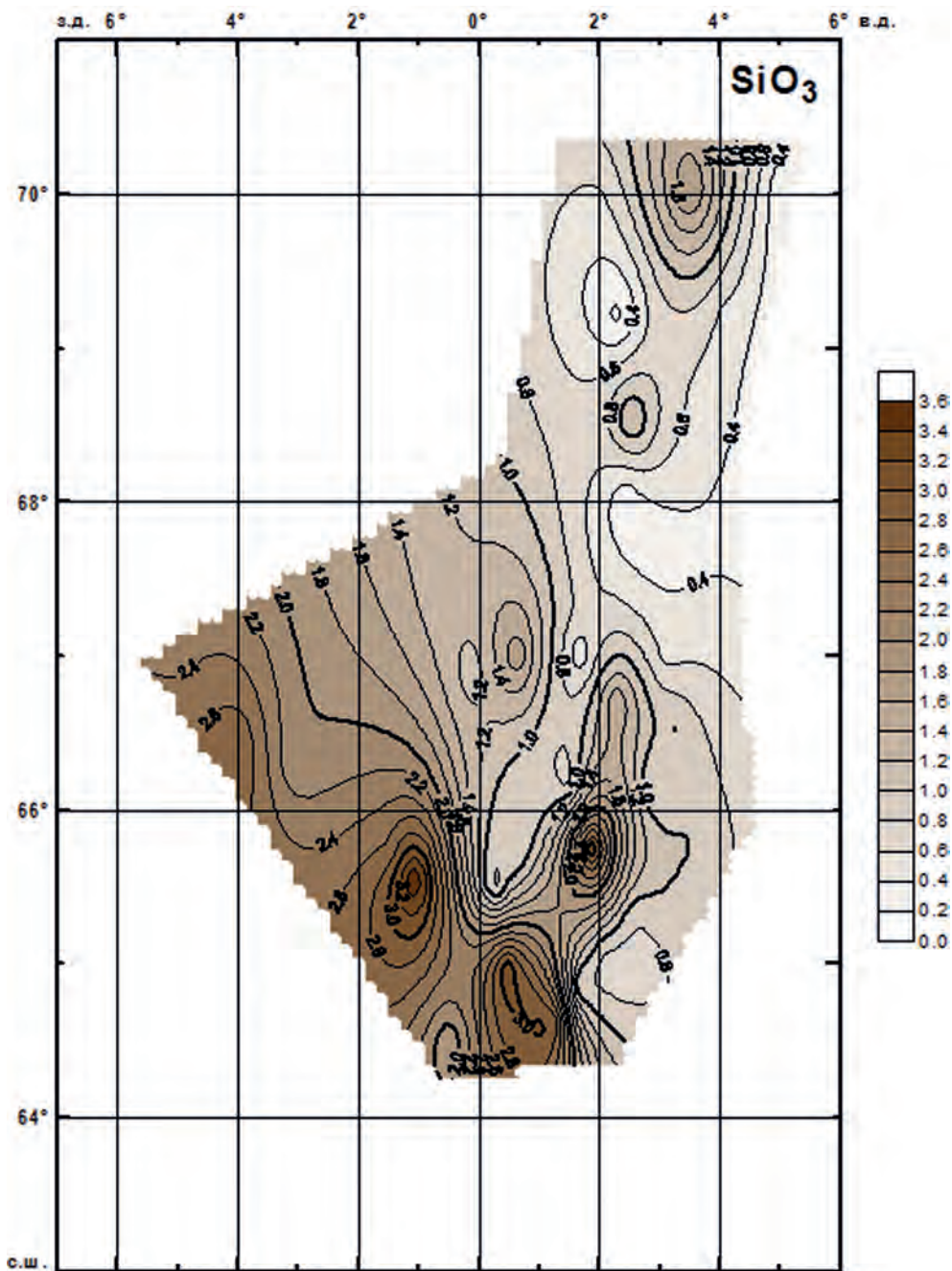


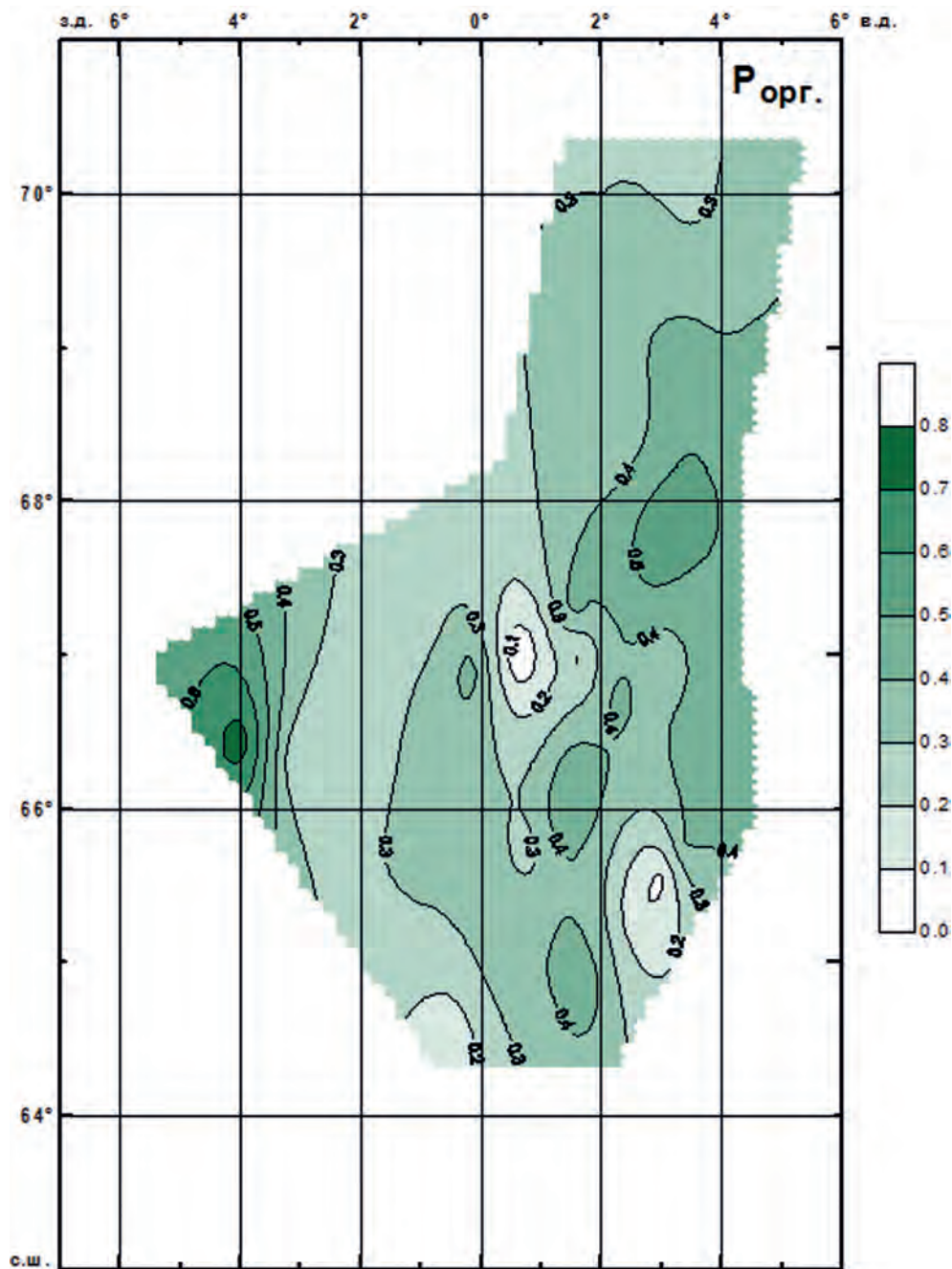
Рисунок 5.6. Распределение нитратов (мкг-ат/л) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.7.** Распределение аммонийного азота ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.8.** Распределение силикатов (мкг-ат/л) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.9.** Распределение органического фосфора (мкг-ат/л) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

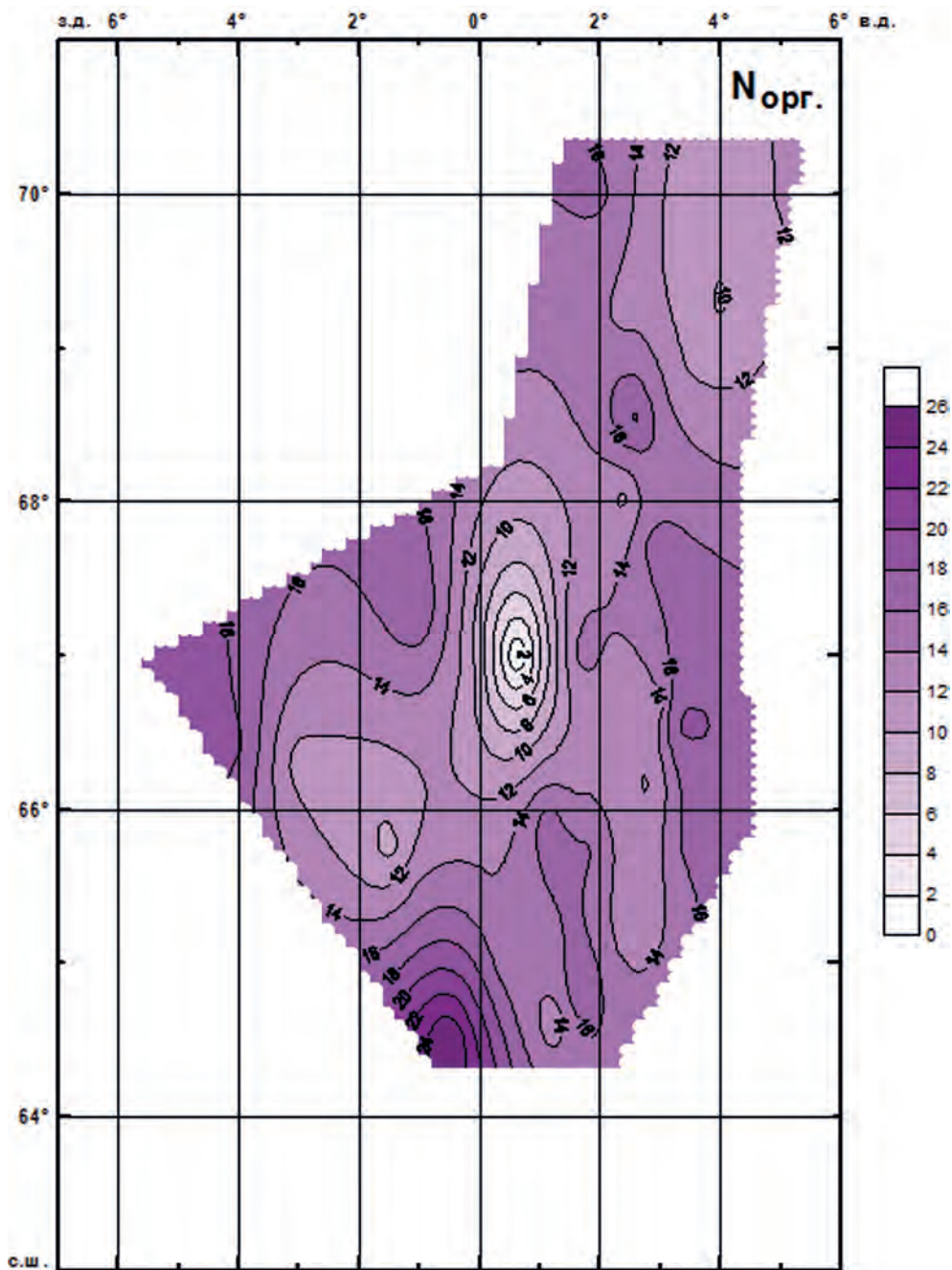
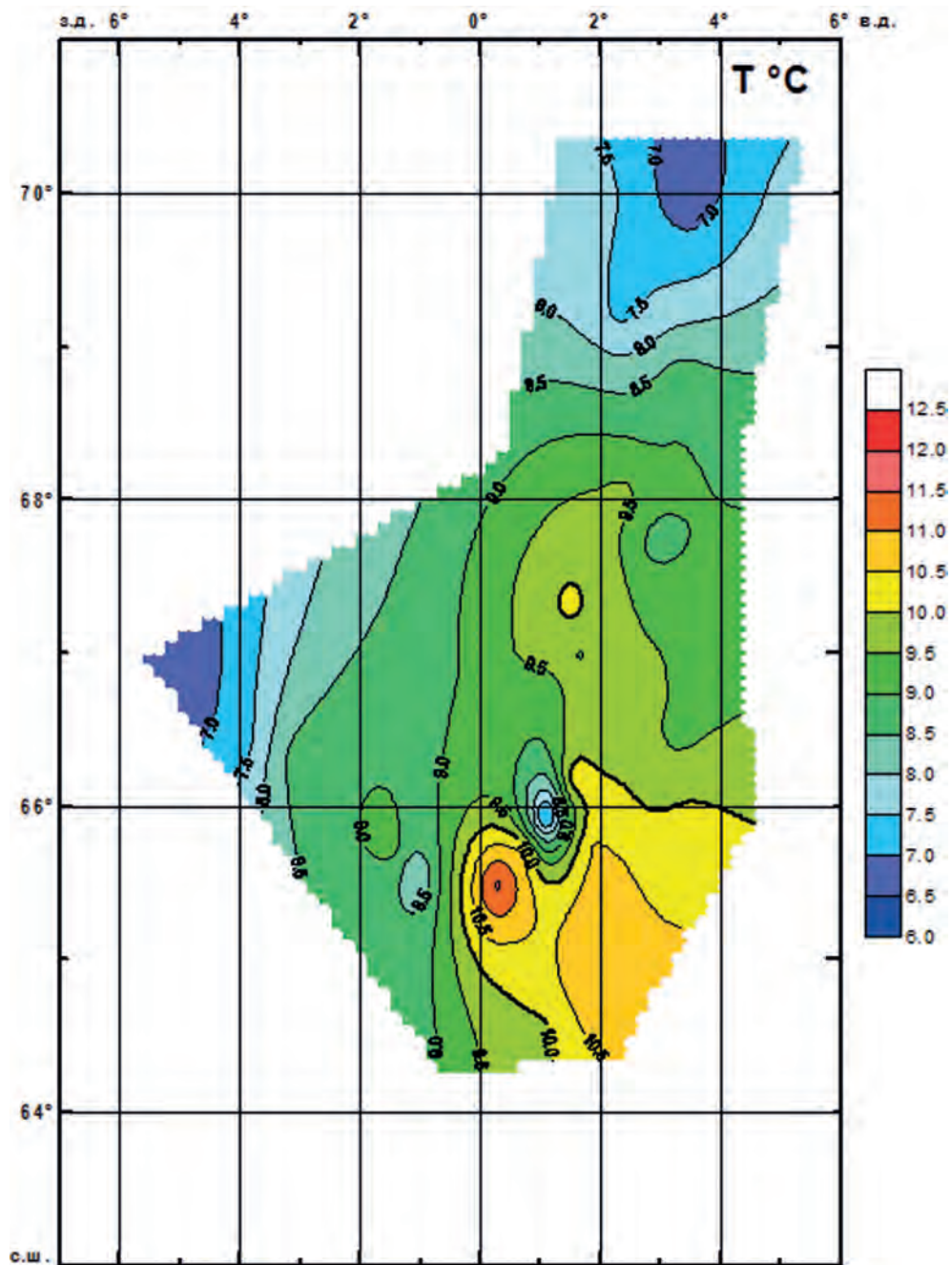


Рисунок 5.10. Распределение органического азота (мкг-ат/л) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.11.** Распределение температуры (°C) на горизонте 20 м по данным измерений на момент отбора гидрохимических проб в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

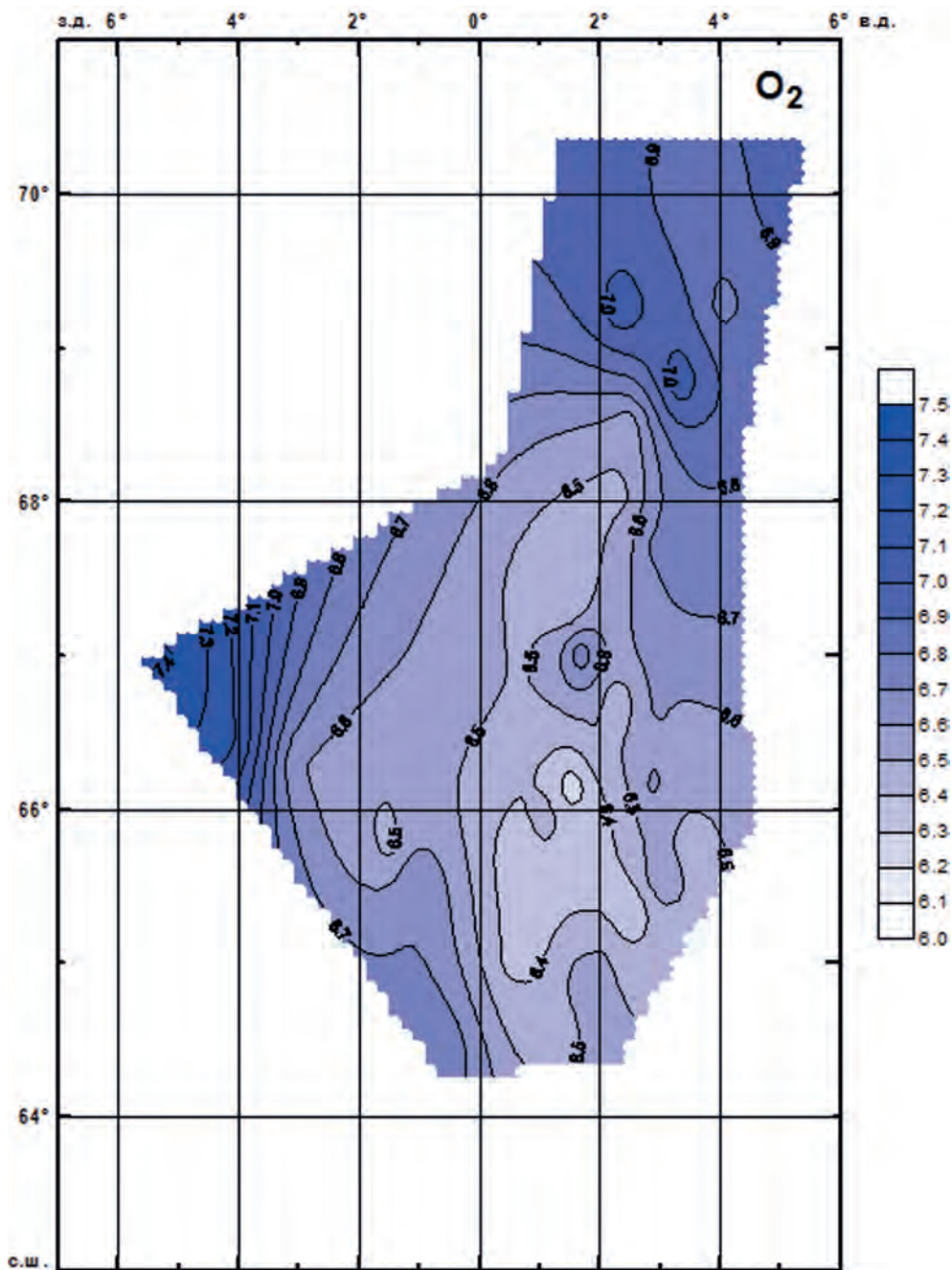


Рисунок 5.12. Распределение растворенного кислорода(мл/л) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



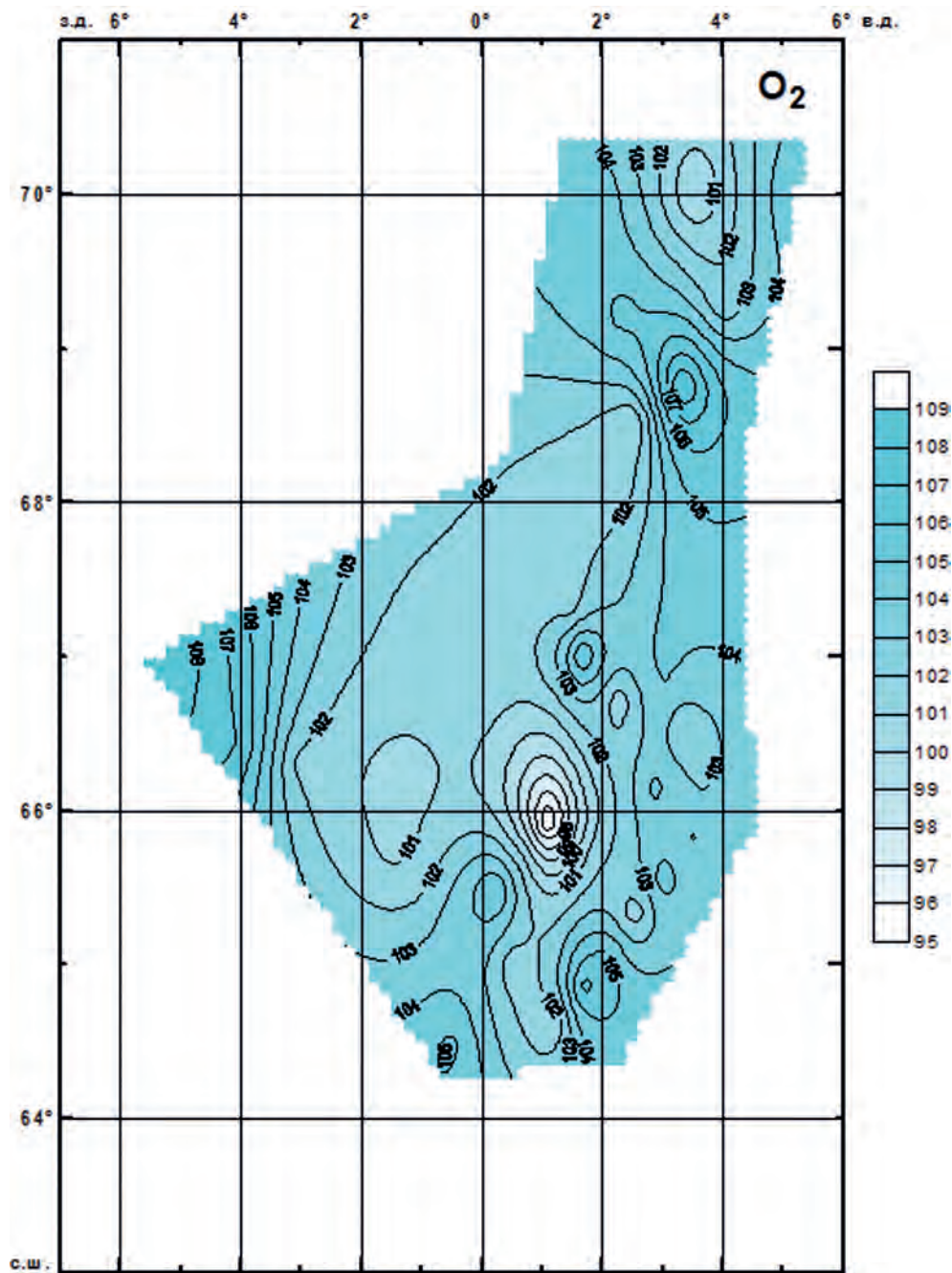


Рисунок 5.13. Распределение растворенного кислорода (%) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

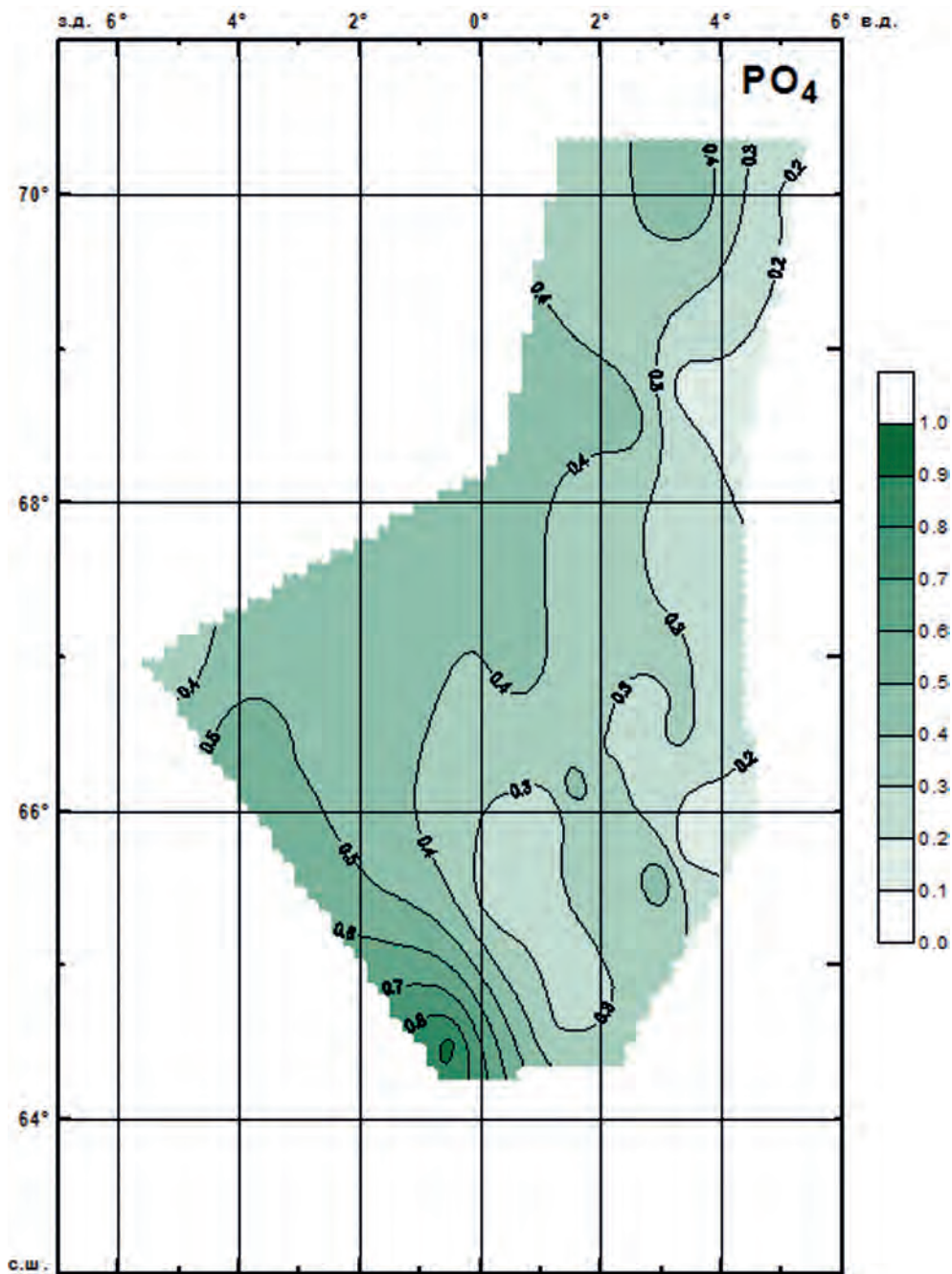


Рисунок 5.14. Распределение фосфатов (мкг-ат/л) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

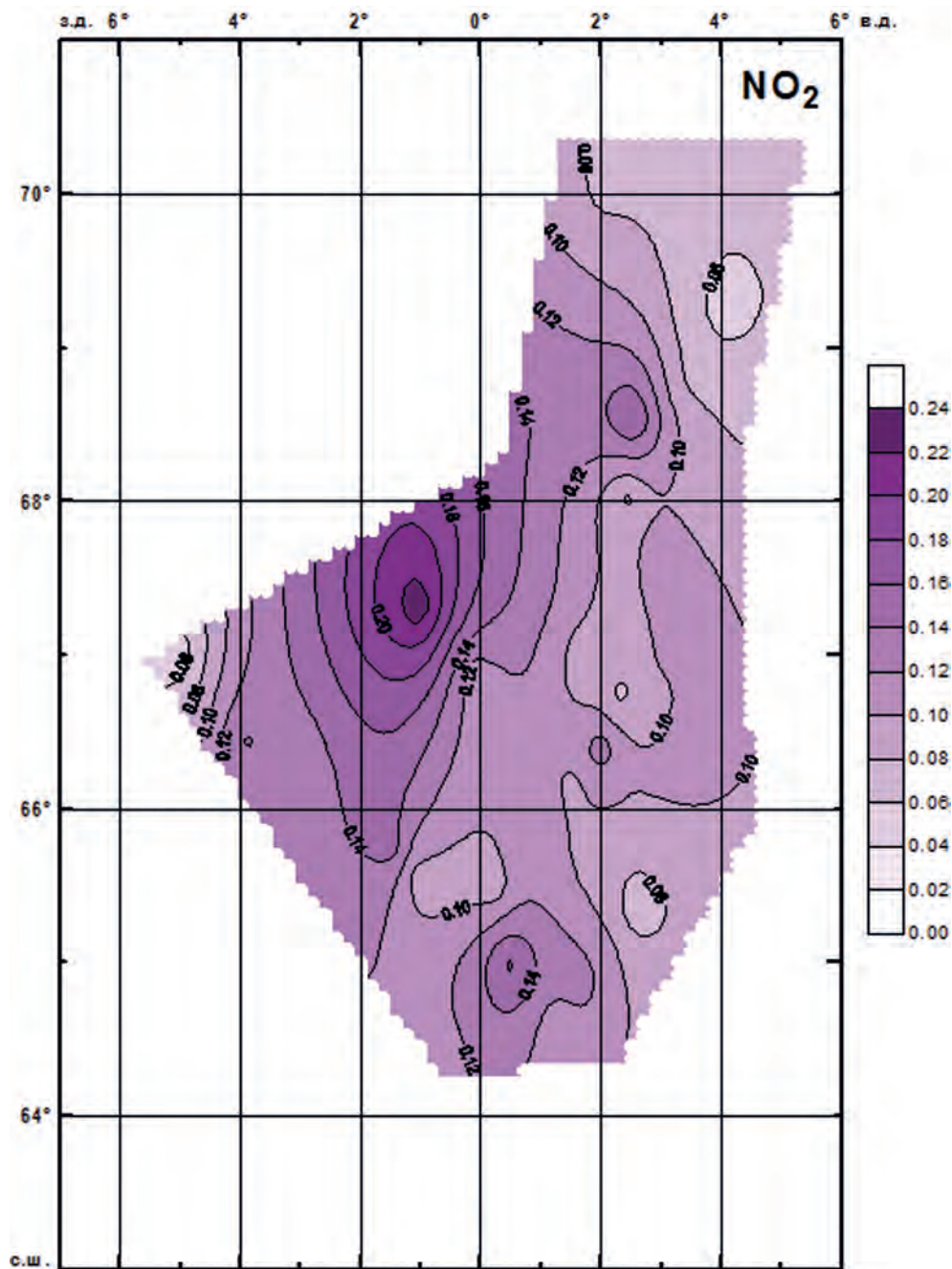


Рисунок 5.15. Распределение нитритов ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

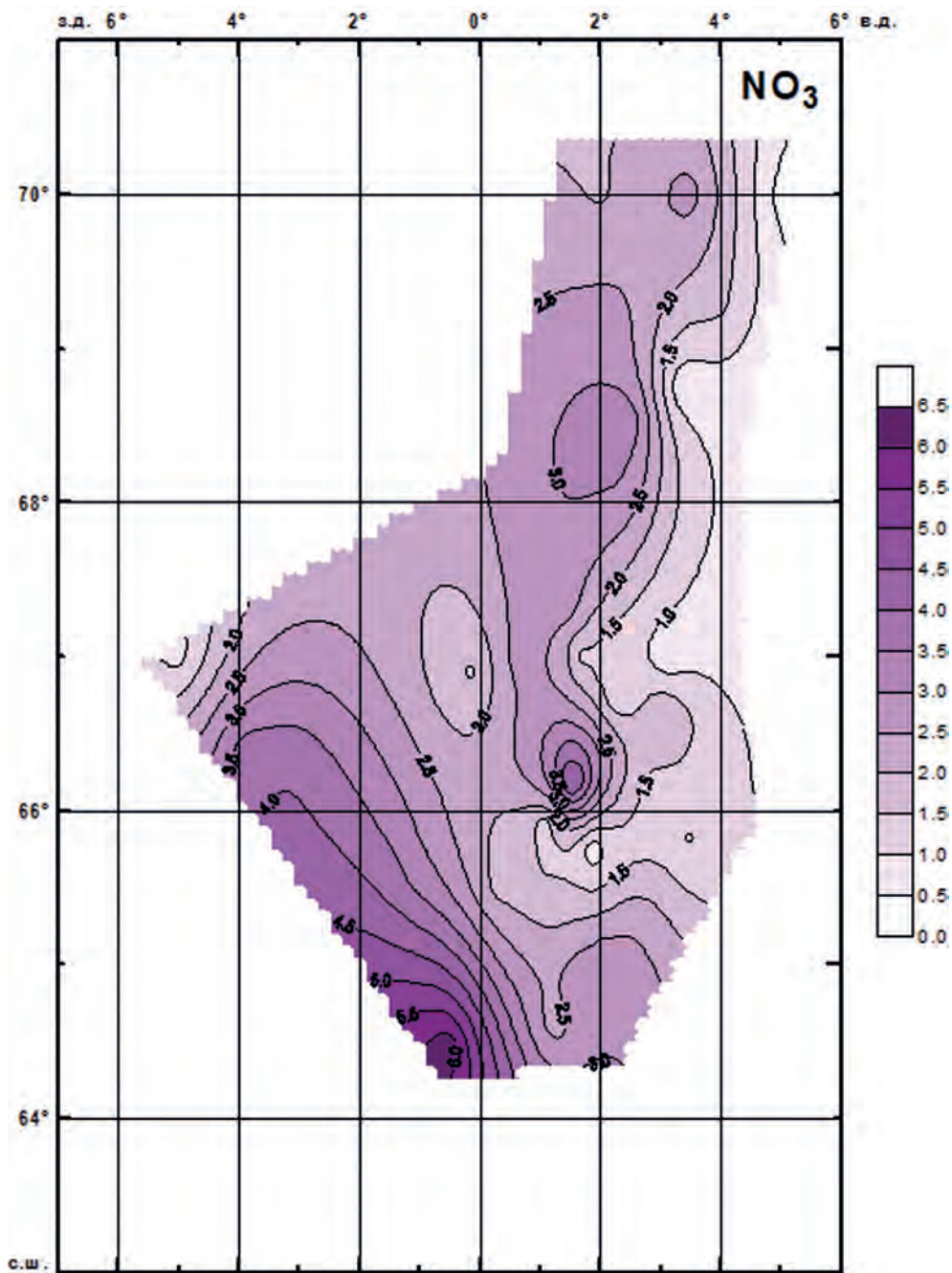
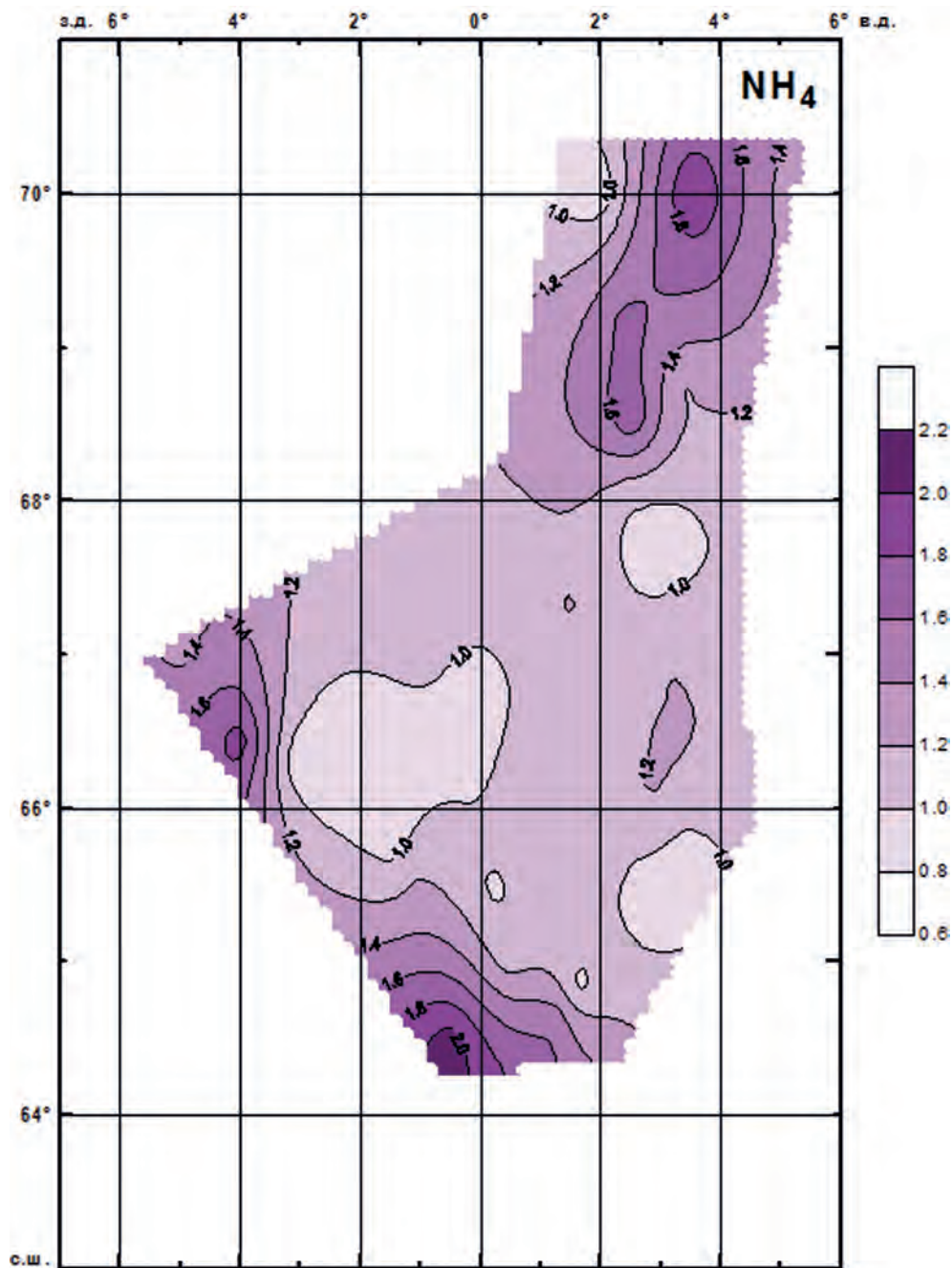
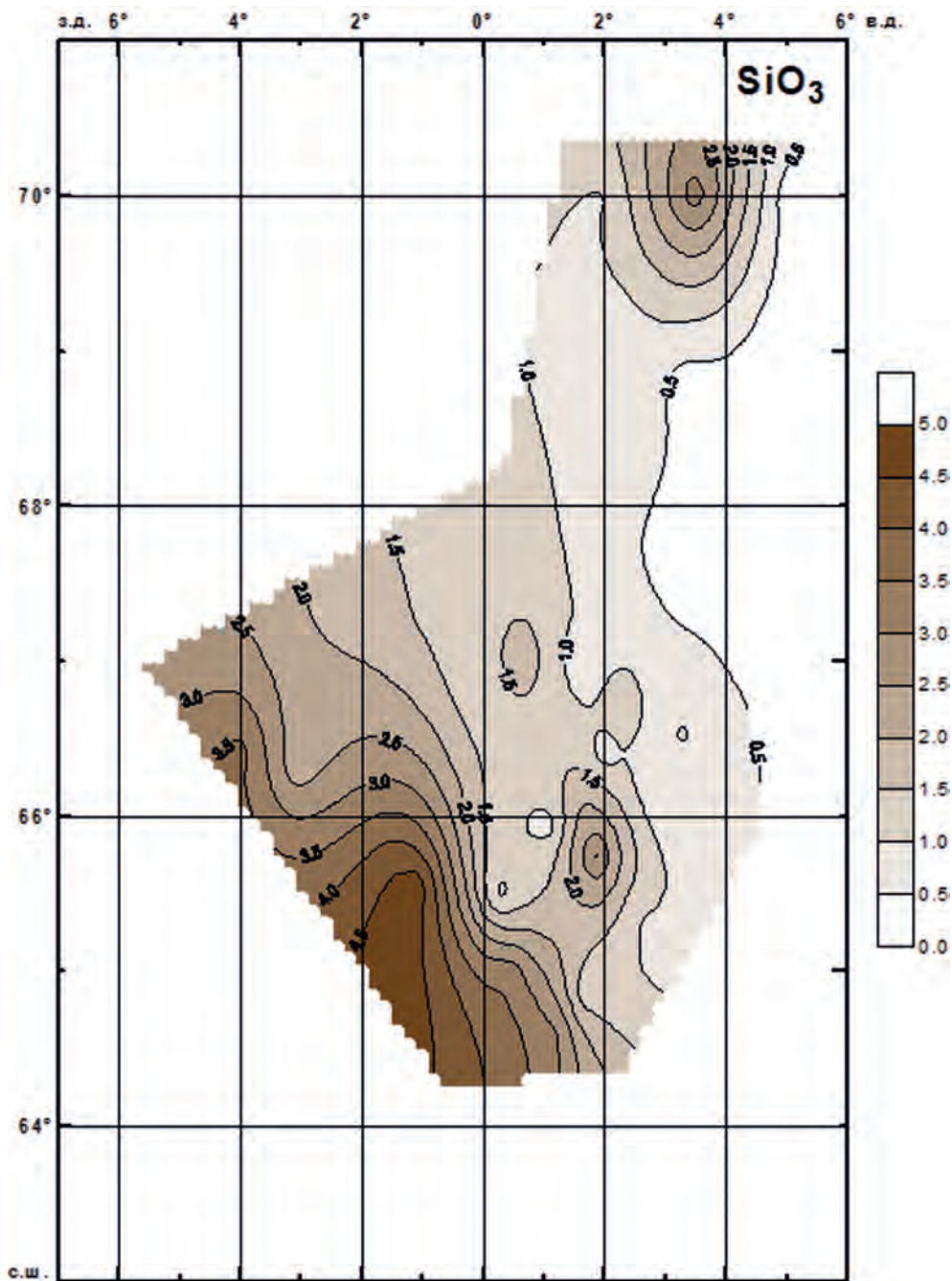


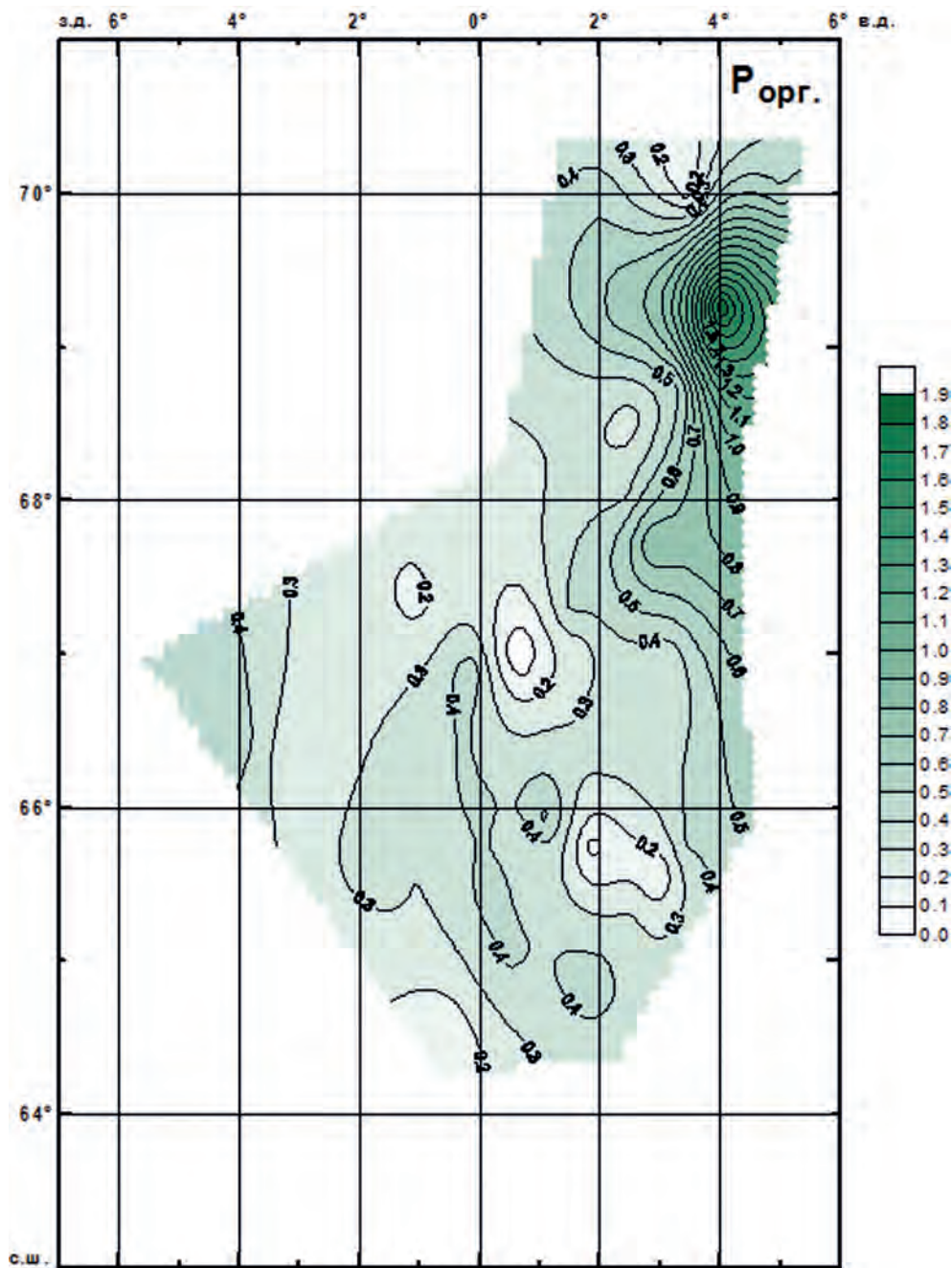
Рисунок 5.16. Распределение нитратов ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.17.** Распределение аммонийного азота ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.18.** Распределение силикатов ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.19.** Распределение органического фосфора (мкг-ат/л) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

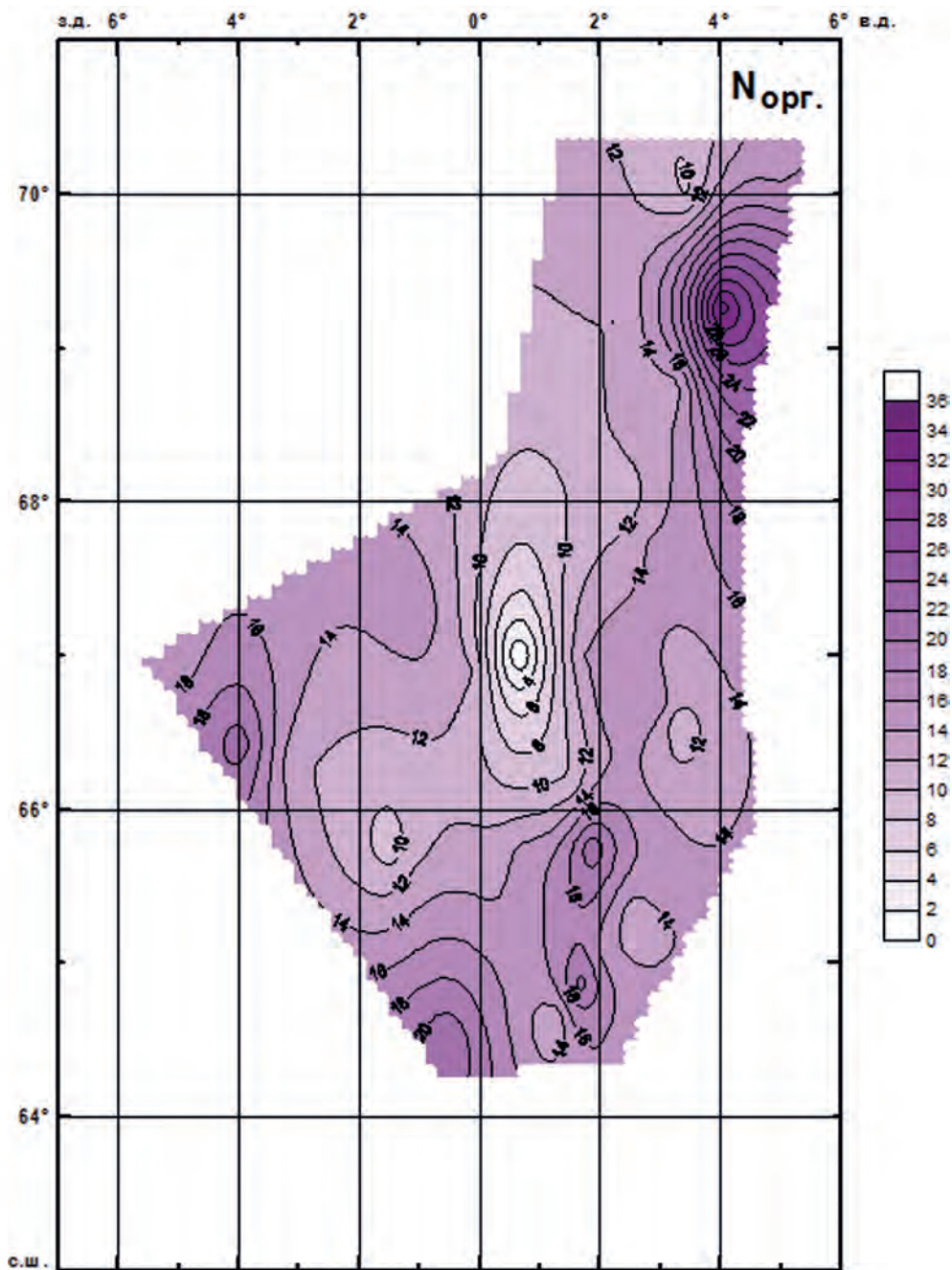
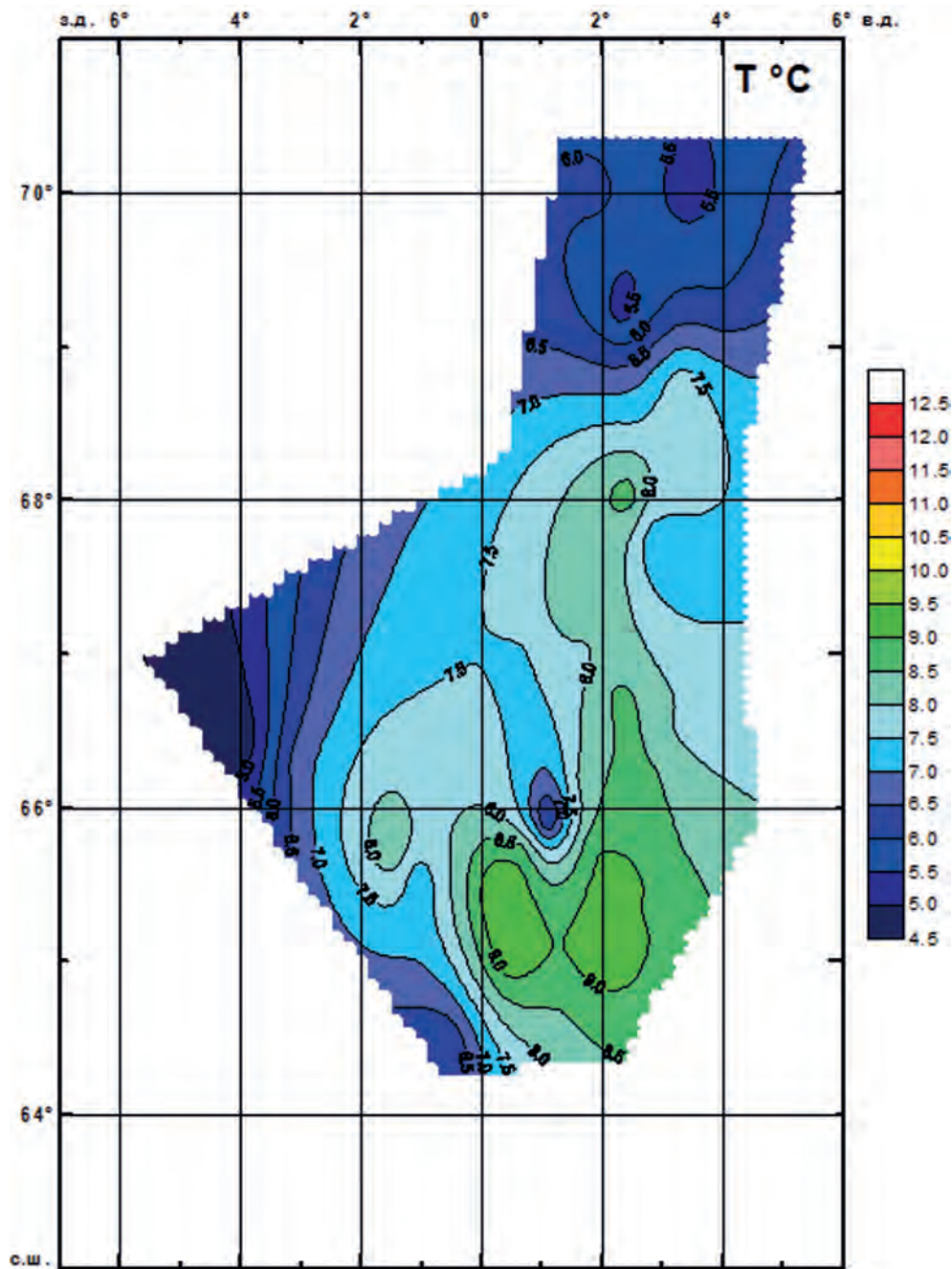
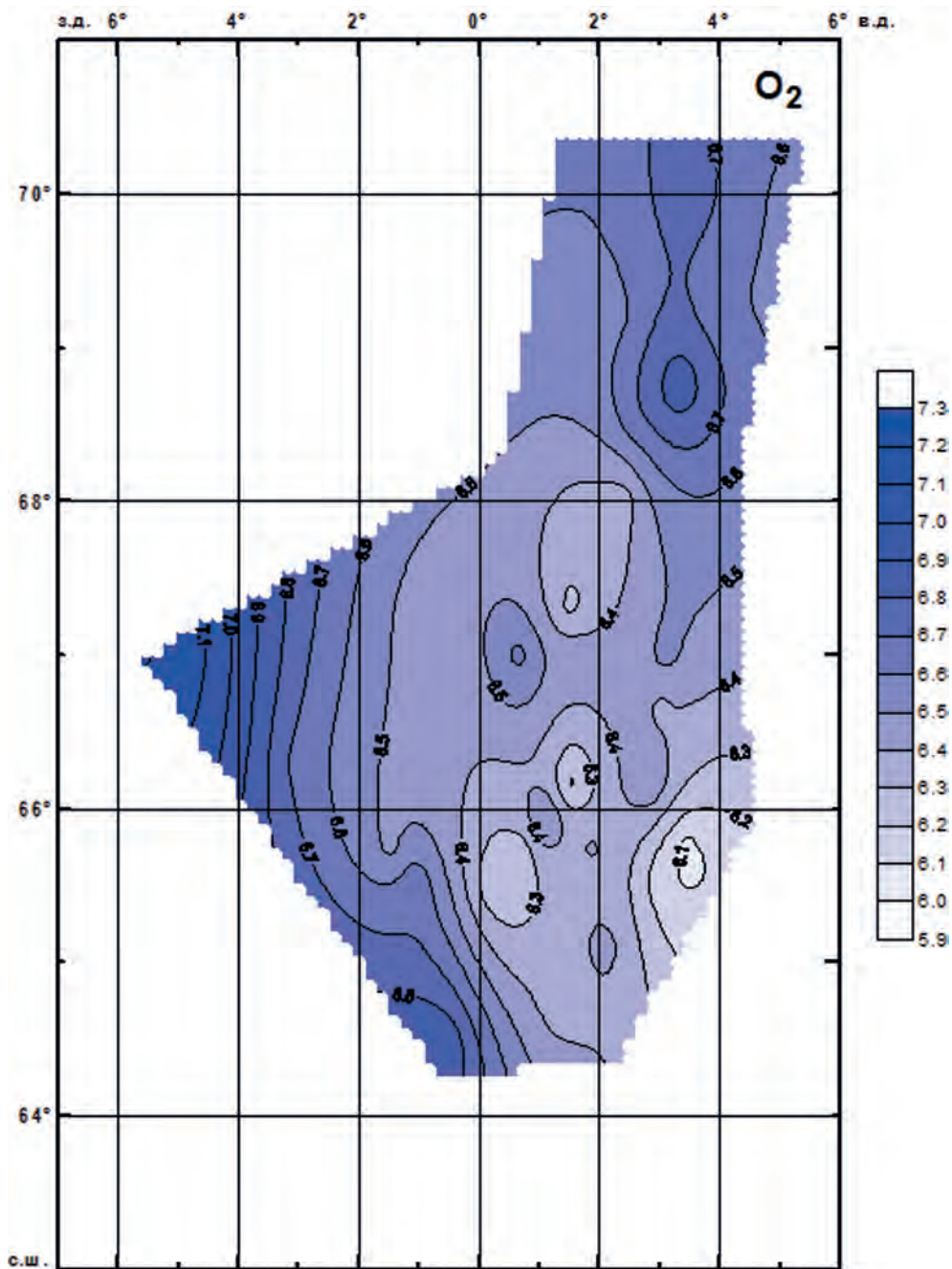


Рисунок 5.20. Распределение органического азота (мкг-ат/л) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997





**Рисунок 5.21.** Распределение температуры (°C) на горизонте 50 м по данным измерений на момент отбора гидрохимических проб в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.22.** Распределение растворенного кислорода (мл/л) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

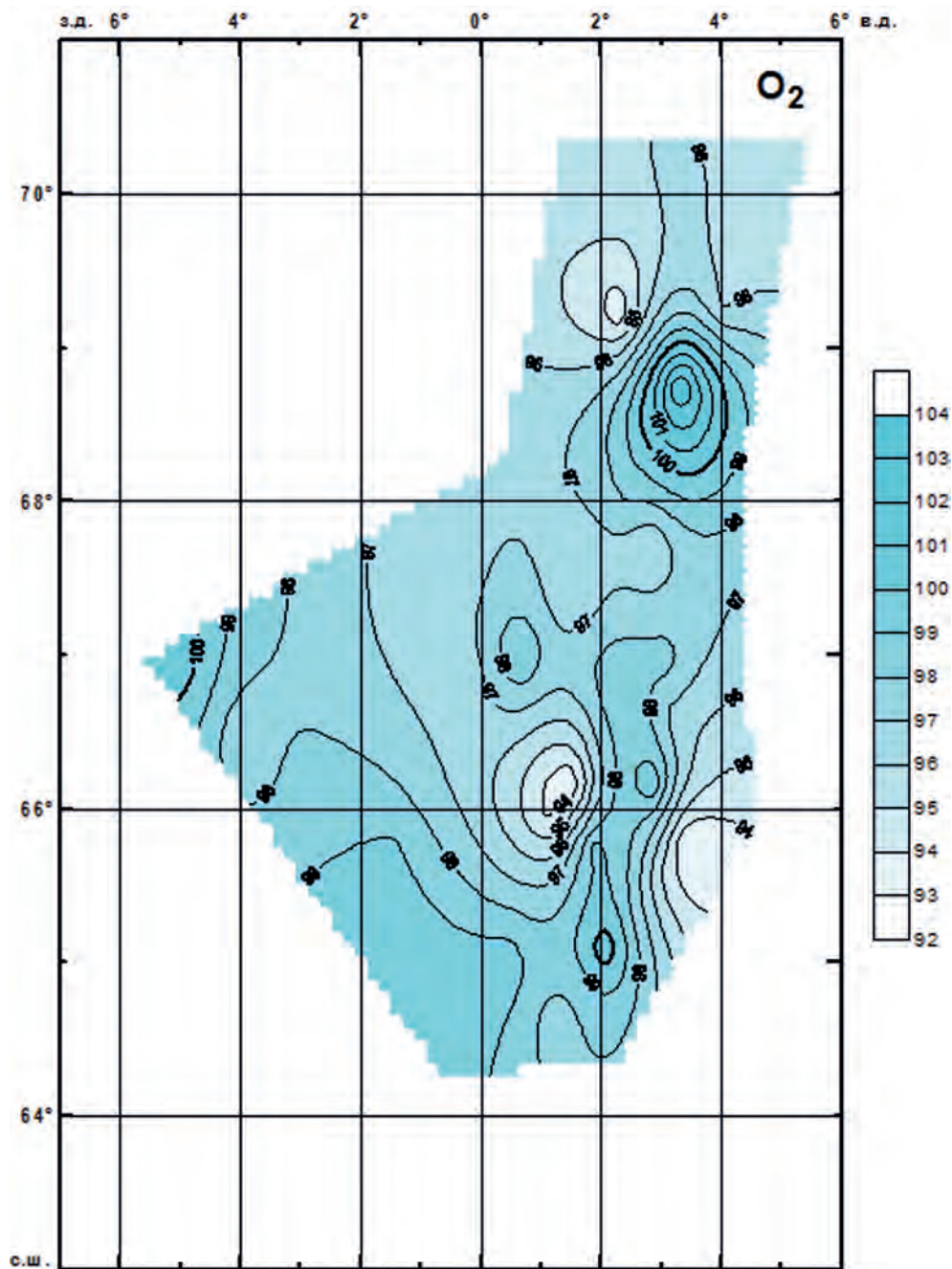
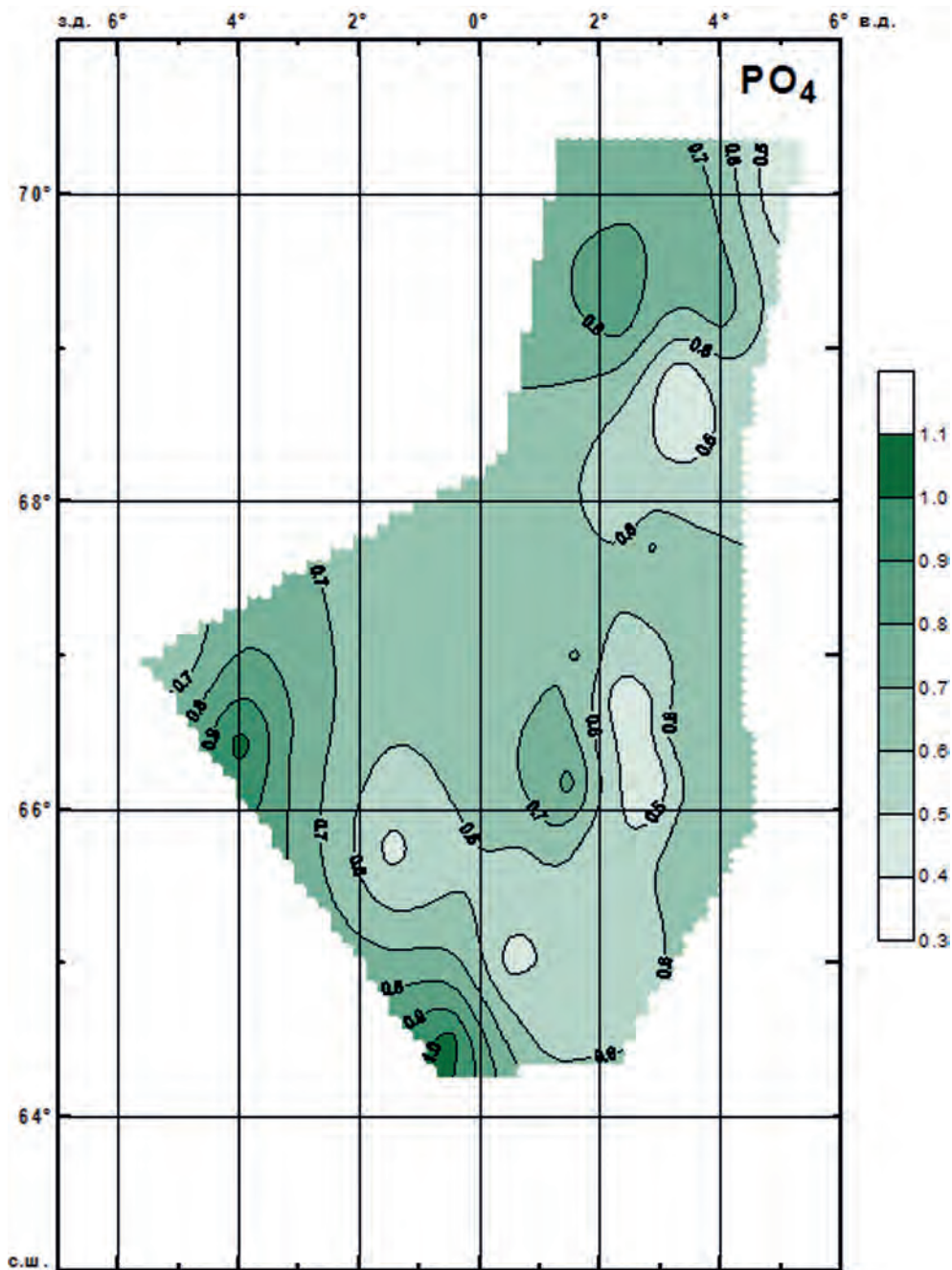


Рисунок 5.23. Распределение растворенного кислорода (%) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.24.** Распределение фосфатов ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

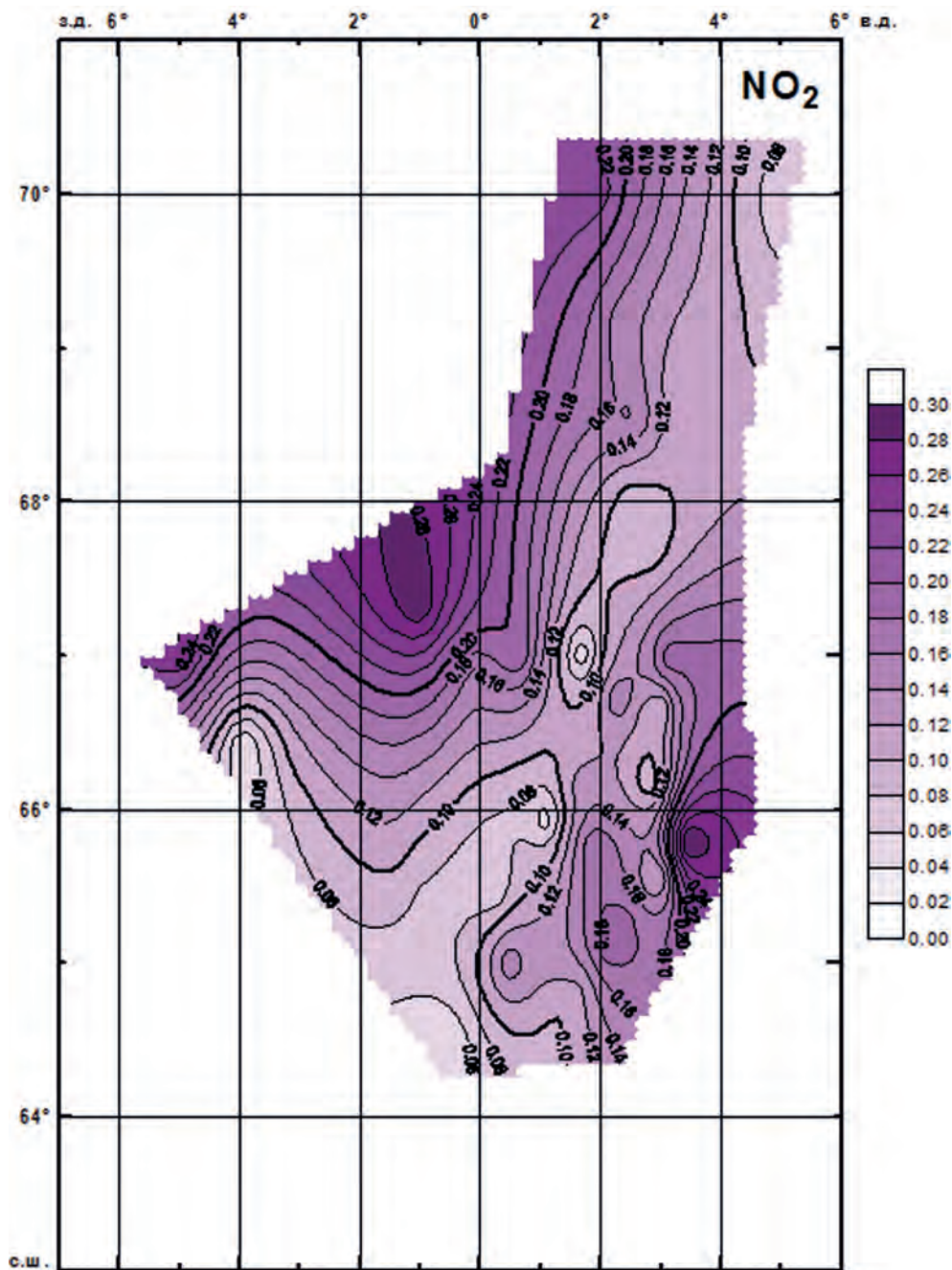
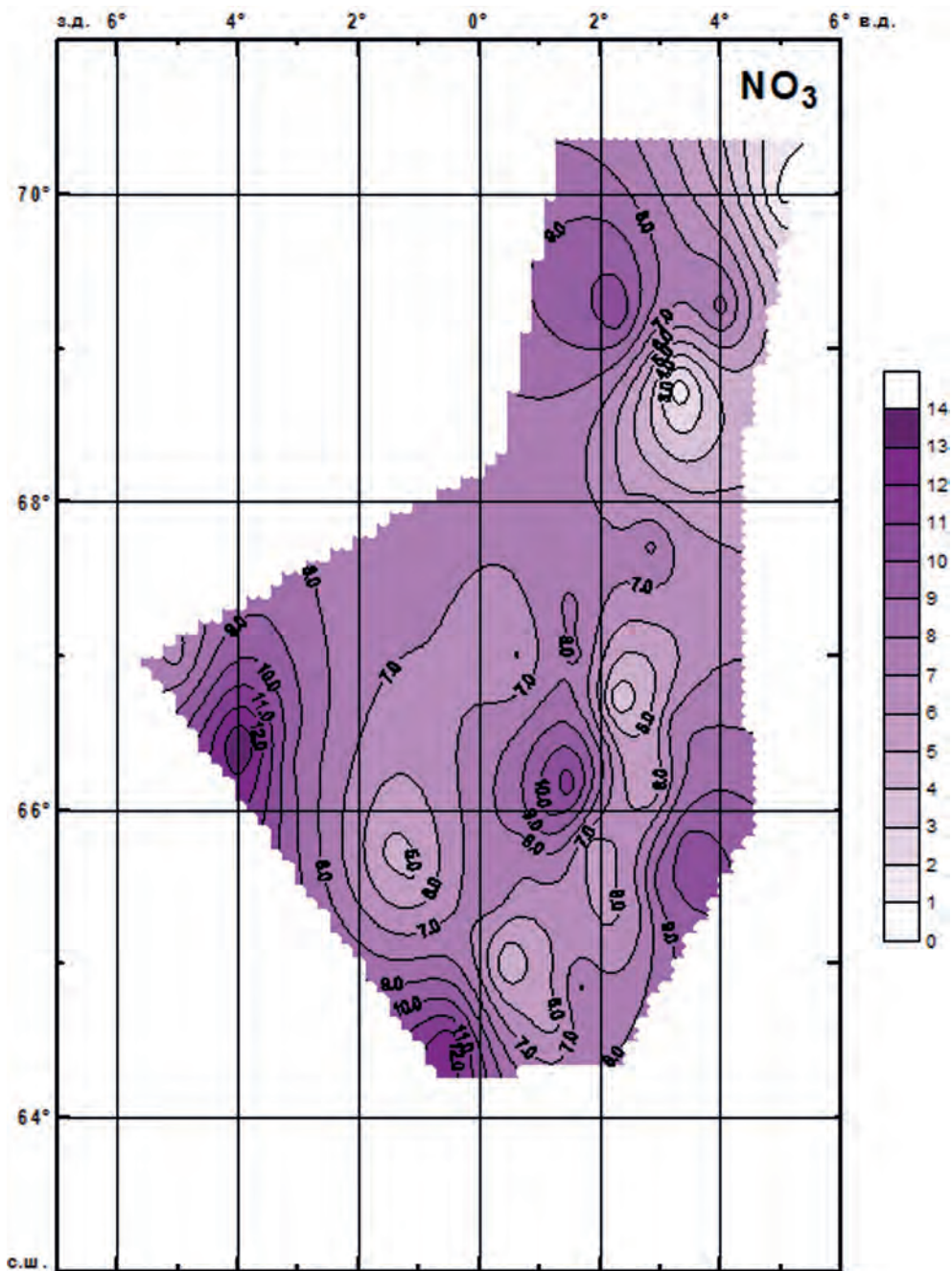


Рисунок 5.25. Распределение нитритов (мкг-ат/л) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.26.** Распределение нитратов ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

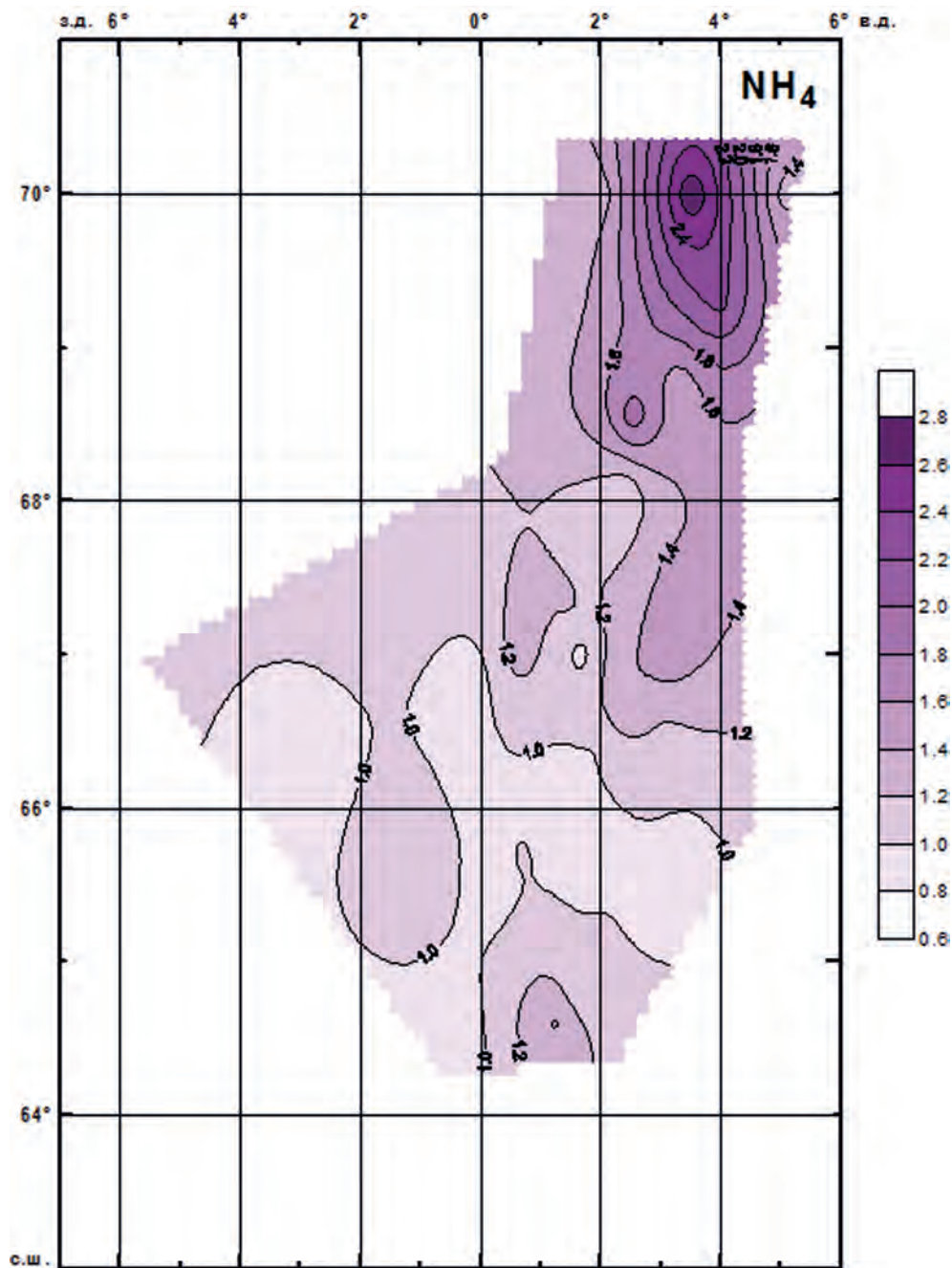
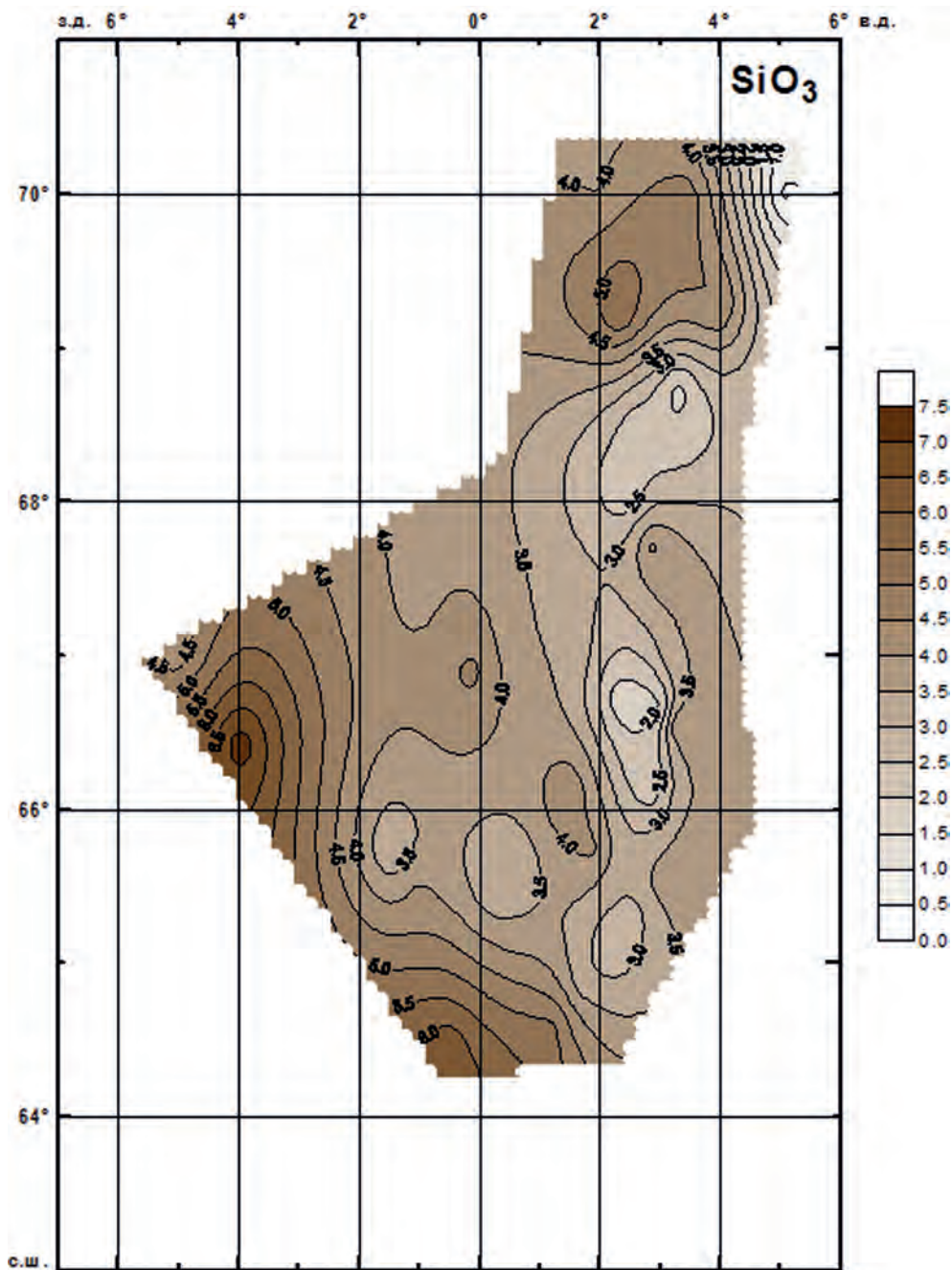
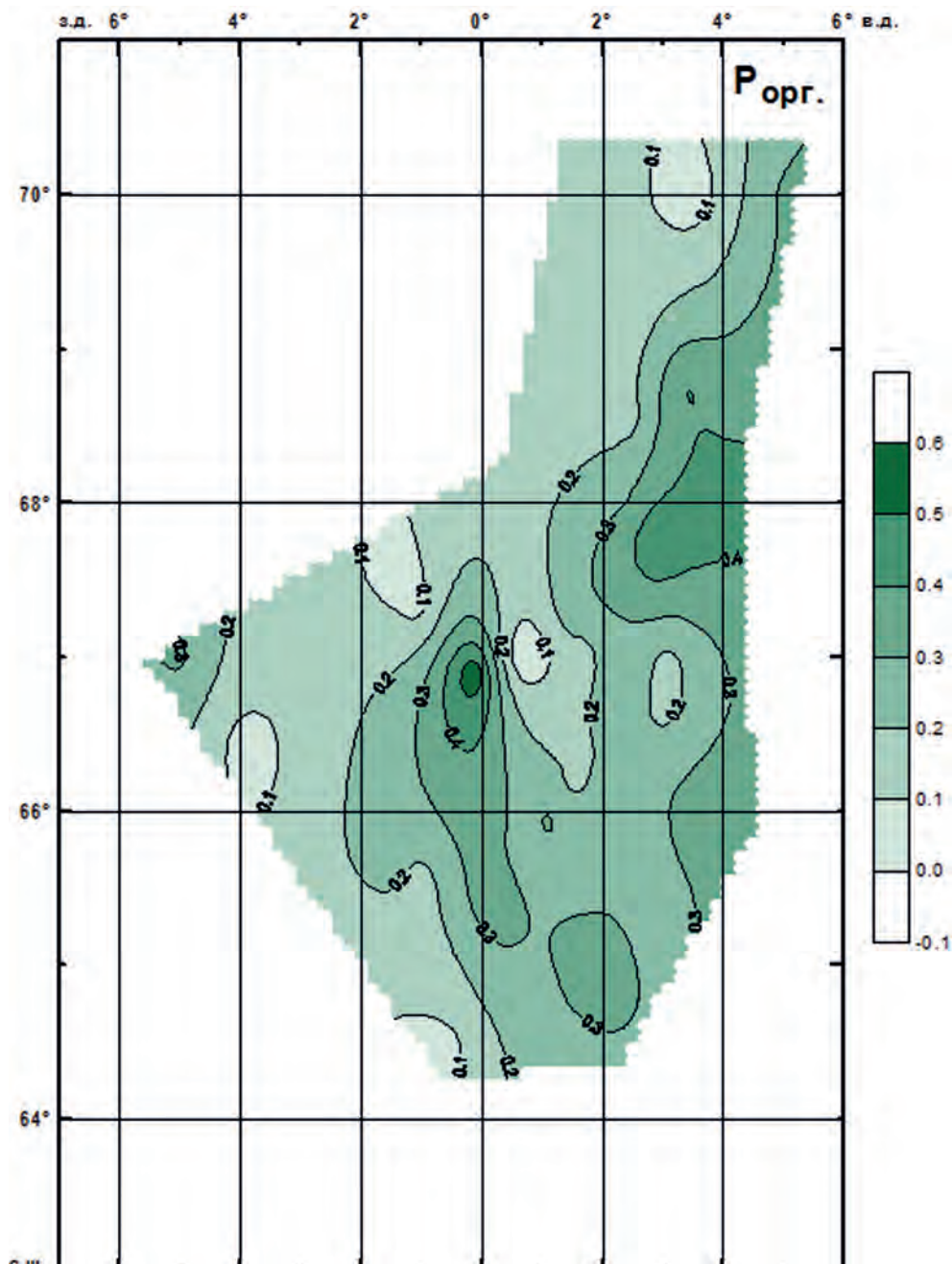


Рисунок 5.27. Распределение аммонийного азота ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

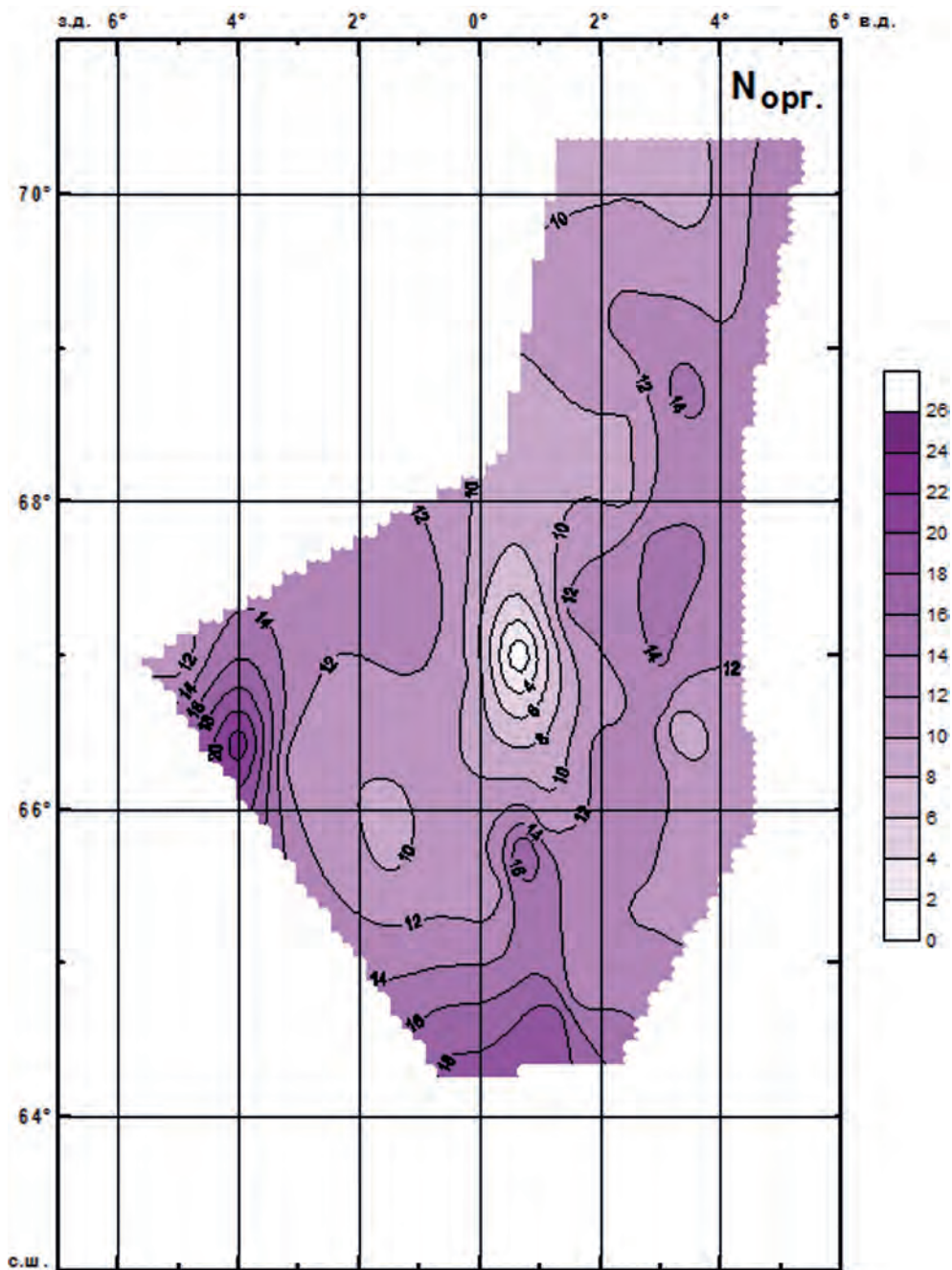


**Рисунок 5.28.** Распределение силикатов ( $\mu\text{г-ат/л}$ ) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

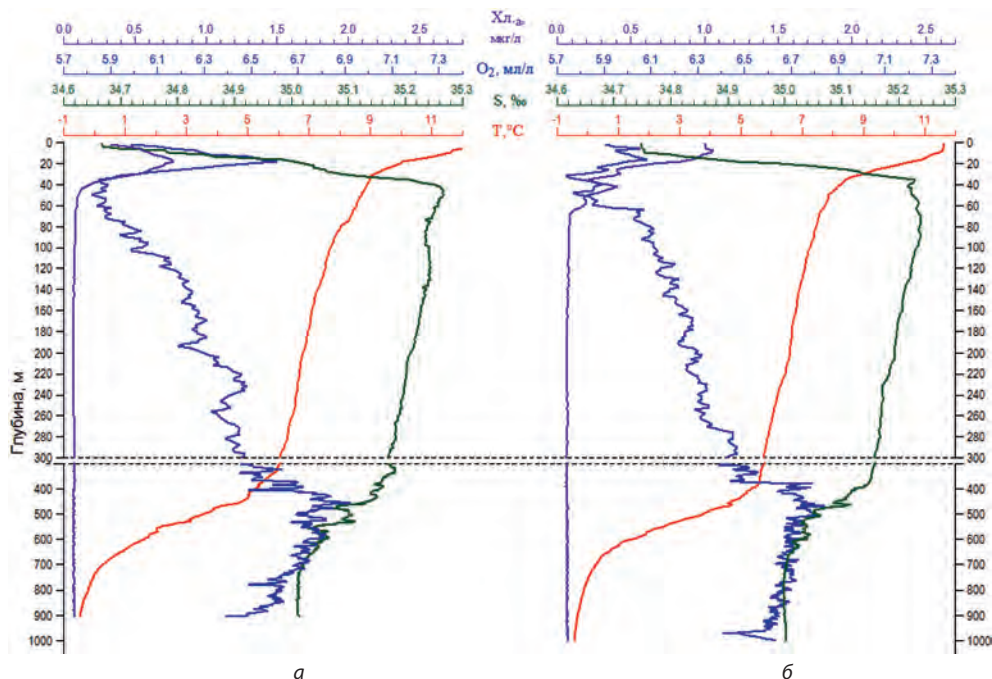




**Рисунок 5.29.** Распределение органического фосфора (мкг-ат/л) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.30.** Распределение органического азота (мкг-ат/л) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 5.31.** Вертикальное распределение температуры, солёности, хлорофилла “а” и растворенного кислорода на гидрологической станциях 32 (а) и 33 (б), 15.07.1997

Реакция определения растворенных силикатов на проточном автоанализаторе Technicon основана на восстановлении кремнемолибдата в кислой среде аскорбиновой кислотой до «молибденовой сини». Для снижения мешающего влияния ортофосфатов в пробы воды перед добавкой аскорбиновой кислоты вводится щавелевая кислота. Оптическая плотность измеряется при длине волны 660 нм (Technicon AutoAnalyzer. Industrial method No. 186-72W/B).

Определение аммонийного азота проводили по методу Седжи-Солорзано с гипохлоритом натрия и фенолом с образованием интенсивно окрашенного голубого комплекса — индофенола. Для предотвращения выпадения в осадок солей магния и кальция в условиях щелочной среды фенол-гипохлоритной реакции, в рабочий раствор гипохлорита натрия добавляют цитрат натрия. В связи с низкими температурами воды в Норвежском море, окраска развивалась в течение 12 ч. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре при длине волны 630 нм (Агатова и др., 1991).

В основе метода определения фосфора по Морфи-Райли лежит реакция ортофосфатов с шестивалентным молибденом и трёхвалентной сурьмой в кислой среде с образованием фосфосурьяномолибденового комплекса, который затем восстанавливается аскорбиновой кислотой. Оптическая плотность измеряется при длине волны 885 нм (Агатова и др., 1991).

Метод определения валового азота и фосфора Королева-Вальдерамма основан на минерализации фосфорсодержащих и азотсодержащих органических соединений под воздействием окислительного реактива и дальнейшего определения количества валового азота и фосфора с применением методов для неорганических форм этих элементов (Агатова и др., 1991). Благодаря тому, что в окислительный реактив кроме персульфата калия введена борная кислота и натриевая щёлочь, сжигание органического вещества происходит в два этапа — сначала в щелочной, а затем в кислой среде. При этом органический азот трансформируется в нитратную, а органический фосфор в фосфатную формы.

### 5.3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведённые гидрохимические исследования в Норвежском море позволили решить несколько задач. Прежде всего, получены наиболее полные представления о гидрохимической структуре западной ветви Норвежского течения и прилегающих районов (Романов, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

1. Определение не только минеральных форм биогенов (фосфаты, нитраты, кремний), но и органических соединений фосфора и азота, а также аммония, позволило замкнуть баланс биогенов и понять их трансформации в продукционно-деструкционном цикле. Дополнительные возможности для такого анализа открываются за счёт синхронных определений растворенного и взвешенного органического вещества, а также его биохимических компонентов. В конечном итоге все усилия направлены на выделение динамических и биохимических причин пространственных неоднородностей в распределении биогенных элементов.

2. С другой стороны, анализируя пространственно-временную изменчивость полей биогенных элементов, можно решать обратную задачу — восстановления и реконструкции динамических вихревых образований и определение знака завихренности. Только совместный анализ гидрохимических данных и полей температуры, солёности, плотности позволяет однозначно решить вопрос о выделении циклонических и антициклонических вихрей. В центре циклонического мезомасштабного вихря всегда наблюдаются повышенные концентрации фосфатов, нитратов, кремнекислоты, но пониженные содержания кислорода, органического фосфора и азота. В антициклоническом вихре — обратная картина. В центре вихря активно развивается фитопланктон, который утилизирует минеральные формы фосфора и азота, создаёт высокие содержания органических соединений этих элементов, а также аммония.

Анализируя карты распределения фосфатов, нитратов, кремнекислоты и кислорода в поверхностном слое (см. рисунки 5.2–5.8) и, сопоставляя с картами распределения температуры (см. рисунок 5.1) и солёности (см. рисунок 4.5), легко выделяются воды ЗВНТ и зоны смешения этих вод с водами глубоководной части Норвежского моря. Воды ЗВНТ выделяются на восточной периферии исследуемого района по низким концентрациям нитратов (менее 1 мкМ), фосфатов (менее 0,3 мкМ) и кремния (менее 0,6...1,0 мкМ), а также по повышенным концентрациям органических соединений фосфора и азота (см. рисунки 5.9, 5.10). Наиболее чётко прослеживается заток тёплых вод с юго-востока по температуре (более 12 °С) и по растворенному кислороду (менее 6,3 мл/л) (см. рисунки 5.1, 5.2). Причём тождественны не только форма «тёплого языка» и заток вод с пониженным содержанием кислорода (менее 6,2 мл/л) на поверхностных картах, но и их последовательная трансформация на глубинах 20 и 50 м (см. рисунки 5.12, 5.22), где площадь «языка» становится больше, но концентрация кислорода в ней повышается, а температура понижается (рисунки 5.11, 5.21).

По мере движения тёплых вод ЗВНТ к северу они охлаждаются, растворимость кислорода увеличивается, и можно было бы ожидать ощутимых величин недонасыщения поверхностного слоя. Однако процессы фотосинтеза совершенно маскируют эту картину и на поверхностной карте процентного распределения кислорода (см. рисунок 5.3) мы видим значительную область недонасыщения кислородом вод (менее 100 %) в районе циклонического круговорота в Норвежской котловине, а в районе фронта наблюдаются максимальные величины перенасыщения — 104...105 %.

В области циклонического круговорота к поверхности выносятся высокие концентрации нитратов (3,5 мкМ), силикатов (3,2...3,4 мкМ) и фосфатов (0,5...0,6 мкМ) (см. рисунки 5.4, 5.5, 5.8), которые благодаря низкой температуре (менее 9 °С) не успевают утилизироваться фитопланктоном. Атомная величина отношения нитратов и силикатов (N/Si) во всем исследуемом районе практически равна 1, что доказывает явную лимитацию процессов фотосинтеза недостатком кремния и свидетельствует об окончании весеннего «цветения» водорослей. Однако на северо-западе района, где нитраты исчерпаны полностью (менее 1 мкМ) (см. рисунок 5.6), а концентрация кремния 0,4...1,8 мкМ (см. рисунок 5.8), идёт интенсивный фотосинтез и перенасыщение кислорода на поверхности достигает 106 %. То, что кремний является лимитирующим элементом, подтверждается мозаичной картиной его распределения на поверхности.

Относительно редкая сетка станций не позволяет выделить мезо- и микромасштабные вихревые образования во фронтальной зоне на левой периферии ЗВНТ. В некоторой степени перемежающиеся циклонические и антициклонические вихри прослеживаются по картам биогенных элементов, но наиболее информативной оказалась карта распределения взвешенного органического углерода на поверхности (см. главу 8). При помощи этой карты были выделены сопряжённые пары циклонических и антициклонических вихрей на левой периферии ЗВНТ и другие мезомасштабные образования.

При последующем анализе космических и самолётных снимков — карта распределения взвешенного органического углерода может оказаться наиболее информативной. Она сравнима по информативности с картами распределения кислорода, хлорофилла, температуры и солёности, построенным по непрерывным записям комплекса AquaShuttle (см. главу 4).

Оценивая полученные гидрохимические материалы в масштабах Мирового океана, можно отметить существенные отличия Норвежского моря от своего высокоширотного аналога в Тихом океане — Берингова моря. Прежде всего, уровень концентраций кремния в глубинных водах (на глубине 1000 м) почти на порядок ниже, концентрация нитратов ниже в пять раз, а концентрация фосфатов — в три раза. Причина этого заключается в более интенсивном вертикальном и горизонтальном обмене вод Атлантического океана, что не способствует накоплению биогенных элементов на промежуточных и больших глубинах (Иваненков, 1977). Все выше сказанное в наибольшей степени относится к Норвежскому морю, которое характеризуются сложнейшей системой течений и мощными процессами вертикального перемешивания. В то же время, поверхностные концентрации биогенов в летний период отличаются незначительно. В открытой глубоководной части моря, в летний период, когда большая часть биогенов утилизируется и экосистема эвфотического слоя перешла на рециклинг, концентрация фосфатов (0,2...0,6 мкМ) даже несколько больше, чем в Беринговом море. Концентрация нитратов изменяется от 1,0 до 3,5 мкМ, что также выше, чем в Беринговом море. Причём, концентрации нитратов менее 0,1 мкМ встречаются только в конце интенсивного весеннего «цветения» водорослей, а затем довольно быстро увеличиваются до 1,0...3,5 мкМ, что свидетельствует о довольно высоких скоростях поступления биогенов снизу из-под пикноклина. Таким образом, экосистема эвфотического слоя практически никогда не переходит полностью на рециклинг и в течение лета доля «новой» первичной продукции, очевидно, не падает ниже 50 %.

В Норвежском море не наблюдалось полное исчерпание запасов кремниевой кислоты в эвфотическом слое. Летом сохраняются концентрации 0,4...4,0 мкМ. Таким образом, понятно, что условия формирования биопродуктивности в Норвежском море совершенно иные, и хотя среднее годовое запас биогенов в 3–5 раз ниже, а соответственно ниже «урожай» органического вещества за время весеннего цветения, но зато выше скорость поступления биогенов в поверхностный слой летом, и, соответственно, выше уровень «новой» первичной продукции в фазе рециклинга. Можно предположить, что потоки органического вещества на высшие трофические уровни в Норвежском и Беринговом морях практически равны, о чем свидетельствует удельная рыбопродуктивность на единицу площади.

Относительно невысокие концентрации органического фосфора (0,2...0,6 мкМ) и азота (10...20 мкМ) подтверждают предположение о незначительной роли рециклинга в Норвежском море по сравнению с Беринговым, хотя активность щелочной фосфатазы велика и потенциальная скорость регенерации фосфора высокая (см. главу 8).

Высокой скоростью водообмена и высокими скоростями продукционно-деструкционных процессов объясняется сравнительно невысокая концентрация аммонийного азота (0,9...1,6 мкМ) в поверхностном слое и незначительное увеличение аммония в слое максимума фитопигментов (2,0...2,4 мкМ) на глубине 15...25 м. Максимум аммонийного азота наблюдали выше или совпадал по глубине с нитритным максимумом, хотя последний из-за низких концентраций выражен очень слабо.

Анализируя вертикальную гидрохимическую структуру, прежде всего, следует отметить поверхностный перемешанный слой тёплых и распреснённых вод, где содержание нитратов, фосфатов и кремния минимально (см. рисунки 5.4, 5.6, 5.8), а в случае с нитратами приближается к аналитическому нулю. Под термоклином происходит резкое увеличение солёности

и биогенных элементов (фосфатов до 0,8...1,0 мкМ, нитратов до 7...11 мкМ, кремния до 5...6 мкМ), концентрации которых затем продолжают постепенно увеличиваться с глубиной. При переходе от Атлантических относительно тёплых и солёных вод Норвежского течения к глубинным водам происходит снижение солёности и повышение концентраций фосфатов до 0,9...1,2 мкМ, нитратов до 14...15 мкМ и кремния до 13 мкМ.

На некоторых станциях (см. рисунок 5.31) на поверхности обнаруживаются прогретые до 11...12 °С и сильно распреснённые (до 34,8 ‰) прибрежные воды с явно выраженным влиянием Балтийских вод. Концентрация фосфатов в этих водах увеличивается до 0,5...0,8 мкМ, а нитратов до 1,1...1,4 мкМ. Содержание растворенного органического углерода увеличивается до 3,0...3,3 мг/л, органического фосфора до 0,5 мкМ, а органического азота до 12,0...13,5 мкМ.

Почти повсеместно наблюдается внедрение Исландских трансформированных вод с пониженной солёностью и температурой на глубинах 250...400 м. Эти воды распространяются вдоль изопикнических поверхностей 27,6...28,0 ед. условной плотности, и выделяются по минимуму нитратов (отрицательная аномалия 2,0...2,5 мкМ) и силикатов (отрицательная аномалия 1,5...2,5 мкМ). По гидрохимическим показателям можно утверждать, что это более «молодые» воды с повышенным содержанием неминерализированной взвеси и преформ фосфатов.

## 5.4. ВЫВОДЫ

В заключение следует отметить, что было проведено исследование гидрохимической структуры открытой части Норвежского моря в районе ЗВНТ и окружающих вод.

Получены наиболее полные представления о гидрохимической структуре западной ветви Норвежского течения и прилегающих районов. С учётом полученных результатов была решена обратная задача — восстановление и реконструкция динамических вихревых образований и определение знака выявленной завихренности.

Определены валовое содержание и концентрации органических соединений азота и фосфора, а также концентрации аммонийного азота. Проведены оценки гидрохимической основы биологической продуктивности. Показано, что лимитация процессов фотосинтеза объясняется недостатком кремния.

Проведена сравнительная оценка распределений гидрохимических параметров и прочих данных гидрологической съёмки в целях анализа и последующего выявления фронтальных зон и мезомасштабных вихревых образований, а также определение направления вращения в этих вихрях и вертикальном переносе вод.

Проведён анализ гидрологической структуры региона в части внедрения и распространения инородных вод на промежуточных глубинах вдоль изопикн по гидрохимическим характеристикам.

# Глава 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТОПИГМЕНТОВ И ВЗВЕСИ

## 6.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

К основным задачам исследований фитопигментов и взвеси в рамках Эксперимента относились:

1. Сбор данных по фитопигментам и взвеси для верификации космических данных, получаемых в видимом диапазоне спектра.
2. Оценка биопродуктивности района, биомассы фитопланктона и его физиологического состояния.
3. Калибровка показаний флуориметров буксируемого зонда AquaShuttle и погружаемого океанологического CTD-зонда NeilBrown.

## 6.2. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ ФИТОПИГМЕНТОВ И ВЗВЕСИ

Определение фитопигментов производили двумя методами: флуоресцентным и спектрофотометрическим. С помощью погружаемого флуориметра SeaTeach, присоединённого непосредственно к океанологическому зонду NeilBrown, на каждой станции непрерывно регистрировали интенсивность флуоресценции хлорофилла "а". Флуориметр был откалиброван по данным, полученным стандартным спектрофотометрическим методом. Одновременно с отдельных горизонтов, выбранных в соответствии с показаниями зонда, как правило, с поверхности и из слоя максимального скопления фитопланктона, отбирали пробы для определения хлорофиллов "а", "b", "с", феофитина "а" и каротиноидов спектрофотометрическим методом в модификации ИО РАН (Руководство..., 2003).

Пробы объёмом 1...1,5 л отфильтровывались через мембранный ультрафильтр № 3 с размером пор около 0,5 мкм, покрытый слоем углекислого магния, затем производили экстракцию пигментов 90%-м ацетоном. После центрифугирования оптическую плотность ацетоновых экстрактов измеряли на спектрофотометре Shimadzu. Процент содержания феофитина "а" в пробе рассчитывали на основе данных, полученных после повторного измерения оптической плотности ацетоновых экстрактов при 664 и 750 нм после подкисления их 0,5N соляной кислотой.

## 6.3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Норвежском море за период с 06.07 по 25.07.1997 было выполнено 42 станции, где производились измерения интенсивности флуоресценции хлорофилла "а" и анализировалось содержание хлорофиллов "а", "b", "с", феофитина "а" и каротиноидов спектрофотометрическим методом. Всего было собрано и обработано указанным методом более 100 проб.

Основные результаты измерений содержания хлорофилла "а" в Норвежском море представлены в таблице 6.1. Как видно из таблицы, в поверхностных водах содержание хлорофилла "а" изменялось в широких пределах: от 0,18 до 1,38 мг/м<sup>3</sup>.

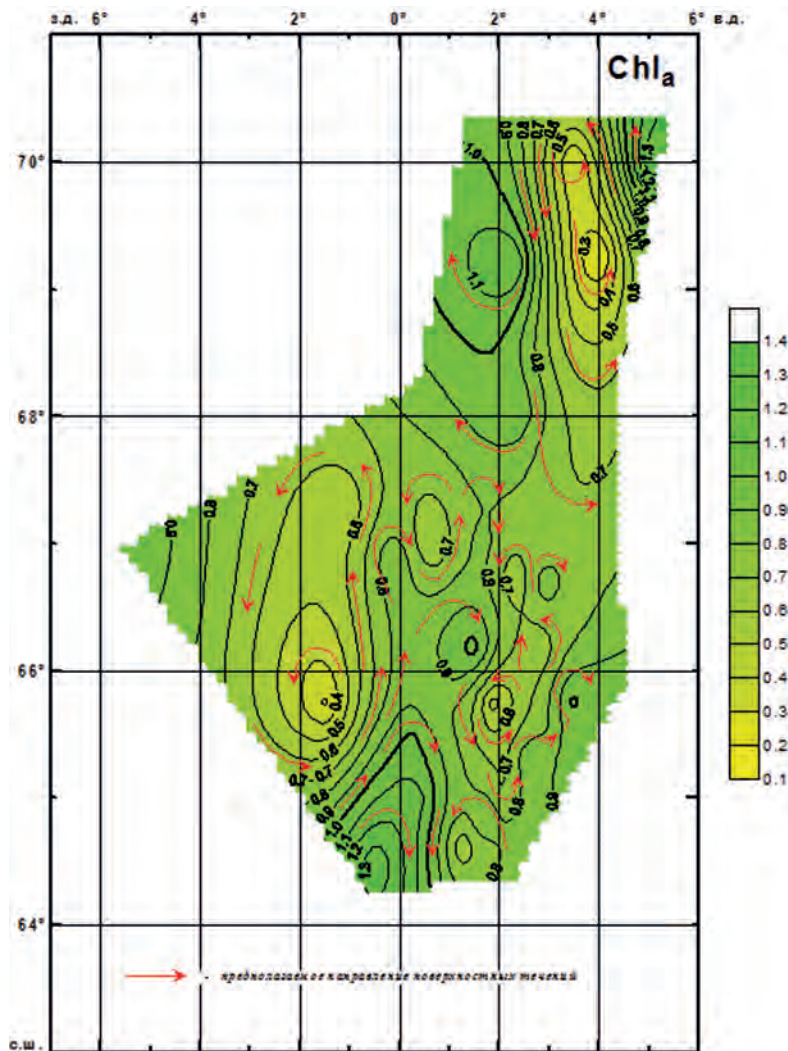
Максимальные величины в поверхностном слое, более 1 мг/м<sup>3</sup>, были отмечены на юго-западе обследованной акватории в районе станции 3 и 9 (1,38; 1,12 мг/м<sup>3</sup>), а также на севере в районе станций 22 и 19 (1,38; 1,20 мг/м<sup>3</sup>) в зонах антициклонических круговоротов (рисунок 6.1). Достаточно высокими концентрациями хлорофилла 0,8...1,0 мг/м<sup>3</sup> характеризовались воды практически всех антициклонических круговоротов различного масштаба, выделенных на обследованной акватории по гидрологическим и гидрохимическим параметрам.

Таблица 6.1. Содержание хлорофилла "а" в Норвежском море, 7–21 июля 1997 г.

№ станции	Глубина места, м	Нижняя граница фотического слоя, м	Хлорофилл "а" в поверхностном слое, мг/м <sup>3</sup>	Хлорофилл "а" максимальное значение в слое, мг/м <sup>3</sup>	Глубина залегания слоя максимума, м	Суммарное содержание хлорофилла "а" в фотическом слое, мг/м <sup>2</sup>	Средневзвешенное содержание хлорофилла "а" в фотическом слое, мг/м <sup>3</sup>
3	2860	38	1,38	1,38	0	42,5	0,76
4	3000	56	0,80	0,85	30	35,6	0,64
5	3000	40	0,95	1,00	20	31,0	0,78
6	2700	40	0,64	1,40	12	37,6	0,94
7	2900	50	0,29	0,80	28	21,5	0,43
8	2900	40	0,57	1,00	25	30,9	0,77
9	2750	40	1,12	1,47	17	44,8	1,12
10	2700	46	0,47	0,90	38	31,2	0,68
11	2800	40	0,89	0,98	31	32,9	0,82
12	2950	50	0,54	1,20	28	38,5	0,77
13	2600	45	0,59	0,81	16	27,9	0,62
14	1800	35	0,63	1,04	16	27,0	0,77
15	1400	36	0,71	1,10	14	31,9	0,89
16	1220	36	0,73	1,20	25	34,0	0,95
17	1300	36	0,77	1,24	17	37,0	1,03
18	3000	50	0,85	1,02	30	47,6	0,95
19	3200	35	1,20	1,63	16	36,2	1,03
20	3000	35	0,97	1,28	14	46,0	1,32
21	3300	55	0,28	1,80	25	49,2	0,89
22	3300	42	1,38	1,80	38	60,6	1,44
23	3300	40	0,18	1,10	37	20,2	0,50
24	3200	50	0,54	1,42	27	41,1	0,82
25	3200	35	0,98	1,18	25	30,7	0,88
26	1800	35	0,79	1,00	18	29,3	0,84
27	1400	40	0,90	0,95	10	27,5	0,69
28	1700	35	0,83	0,85	22	23,5	0,67
29	1500	40	0,64	0,80	20	25,2	0,63
30	1350	40	1,01	1,10	20	–	–
31	1800	40	0,80	1,00	12	32,3	0,81
32	1700	40	0,79	0,85	17	21,6	0,54
33	1900	35	1,04	1,15	8	27,0	0,77
34	2600	35	0,87	0,95	15	27,1	0,77
35	3000	35	0,91	1,40	15	35,0	1,00
36	2700	40	0,69	0,91	14	23,1	0,58
37	3600	40	0,81	0,81	0	31,4	0,78
38	2800	30	0,80	0,85	15	20,6	0,69
39	2800	30	0,60	1,00	18	24,4	0,81
40	2800	30	0,62	0,62	0	12,6	0,42
42	1500	30	0,64	0,95	15	22,4	0,75

В западной части полигона в зоне смешения атлантических и арктических вод также наблюдался ряд круговоротов различного знака. В районе циклонического круговорота (станции 6, 7, 8) наблюдались невысокие количества хлорофилла с минимумом на станции 7 — менее 0,4 мг/м<sup>3</sup>; здесь же отмечена минимальная насыщенность поверхностных вод кислородом — менее 100 % (см. главу 5).





**Рисунок 6.1.** Распределение хлорофилла "а" (мкг/л) в поверхностном слое в Норвежском море. Красными стрелами отмечено направление течений в геострофическом приближении. 06.07–17.07.1997

В центральной части Норвежского моря между 65° и 69° с.ш., где, по гидрологическим данным, происходит активное перемешивание полярных и атлантических вод, по распределению хлорофилла на поверхности можно выявить чередование областей повышенного ( $0,8 \dots 1,0 \text{ мг/м}^3$ ) и пониженного ( $0,5 \dots 0,7 \text{ мг/м}^3$ ) его содержания. Области высоких концентраций фитопигментов, характеризующиеся низким содержанием минеральных форм биогенов и большими количествами органики и аммиака, соответствуют антициклоническим круговоротам и наоборот, области низких концентраций хлорофилла с повышенными величинами фосфатов, нитратов и кремния у поверхности — это циклонические круговороты (см. рисунок 6.1).

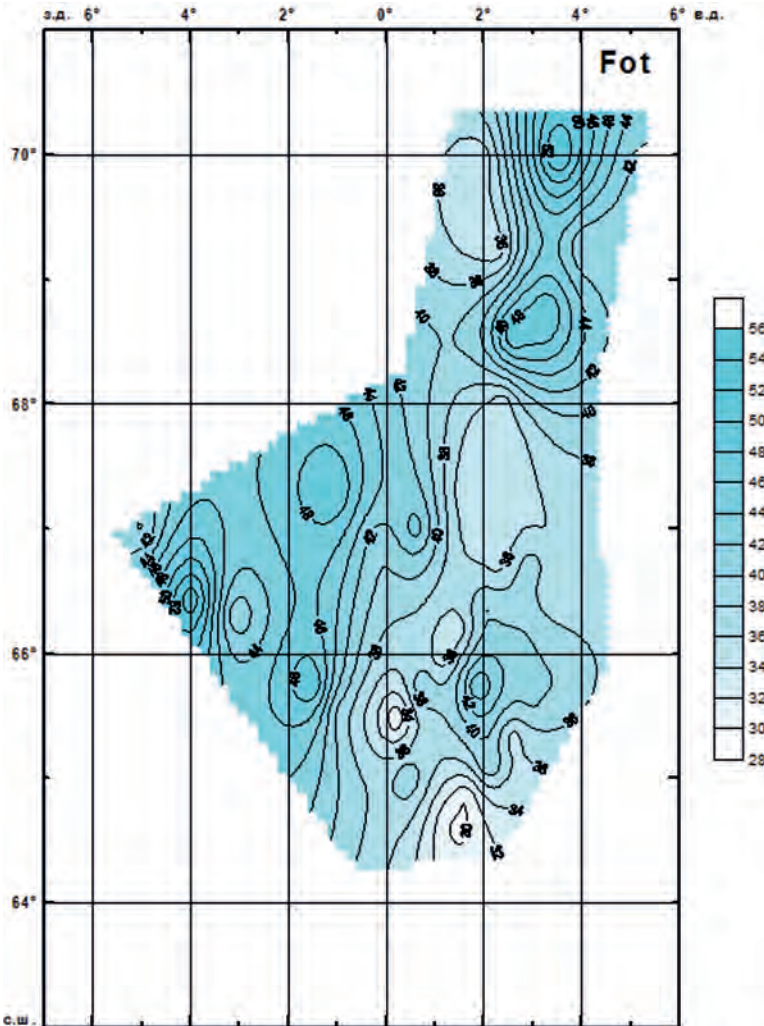
На севере акватории на широте 68°–69° с.ш. в районе фронтальной зоны, отмечаемой по гидрологическим параметрам, по распределению хлорофилла также прослеживается наличие градиентных зон. На северо-западе (станция 20) и северо-востоке (станция 22) полигона выделяются зоны высоких концентраций фитопигментов, где имеет место активный фотосинтез клеток фитопланктона: относительное содержание кислорода в поверхностных водах — 105...106%. Между этими зонами у поверхности прослеживается заток вод с пониженной температурой  $-7,82 \text{ }^\circ\text{C}$  (станция 21) и малым содержанием хлорофилла — менее  $0,3 \text{ мг/м}^3$  (см. приложение 2).

С глубиной содержание хлорофилла, как правило, возрастало, и в слое максимума, установленного на основе анализа кривых изменения интенсивности флуоресценции фитопигментов по глубине, его количество в 1,5–2 раза превышало поверхностную концентрацию (см. таблицу 6.1).

Фитопланктон, как правило, концентрировался в пределах фотического слоя толщиной 30...50 м в зависимости от прозрачности вод (рисунок 6.2). Глубину залегания нижней границы фотического слоя устанавливали на основе анализа данных о вертикальном распределении интенсивности флуоресценции фитопигментов с глубиной (по результатам зондирования), о прозрачности вод и глубине залегания изолинии 100%-го насыщения вод кислородом, а также по прямым измерениям подповерхностной освещённости.

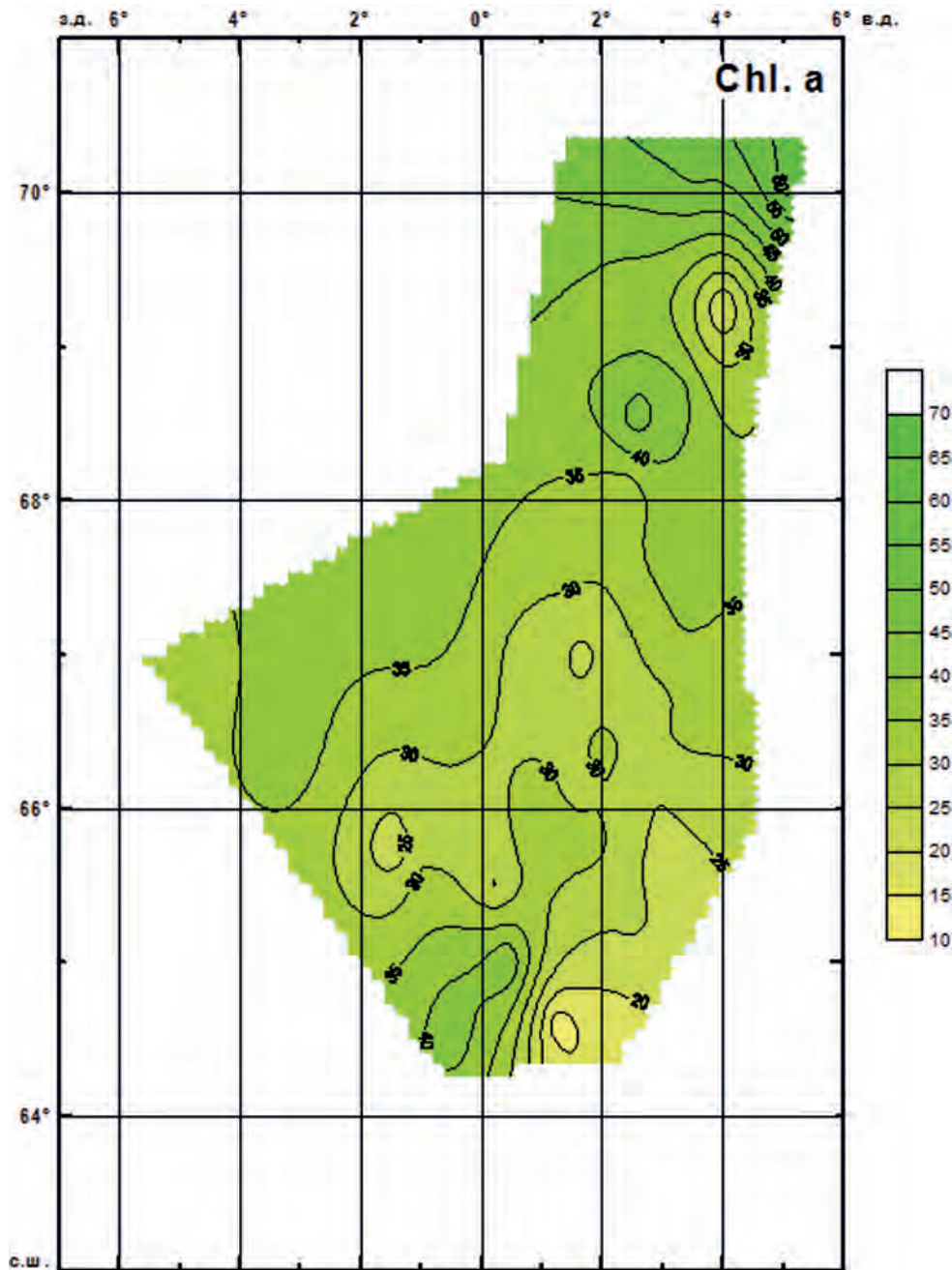
В пределах обследованной акватории в зонах пониженных концентраций фитопигментов на западе и севере района толщина фотического слоя была максимальной — 45...50 м (см. рисунок 6.2).

В целом для обследованной акватории Норвежского моря картина вертикального распределения фитопланктона, а, следовательно, и хлорофилла, была чрезвычайно разнообразной, что, в первую очередь, связано с гидрологическими условиями.

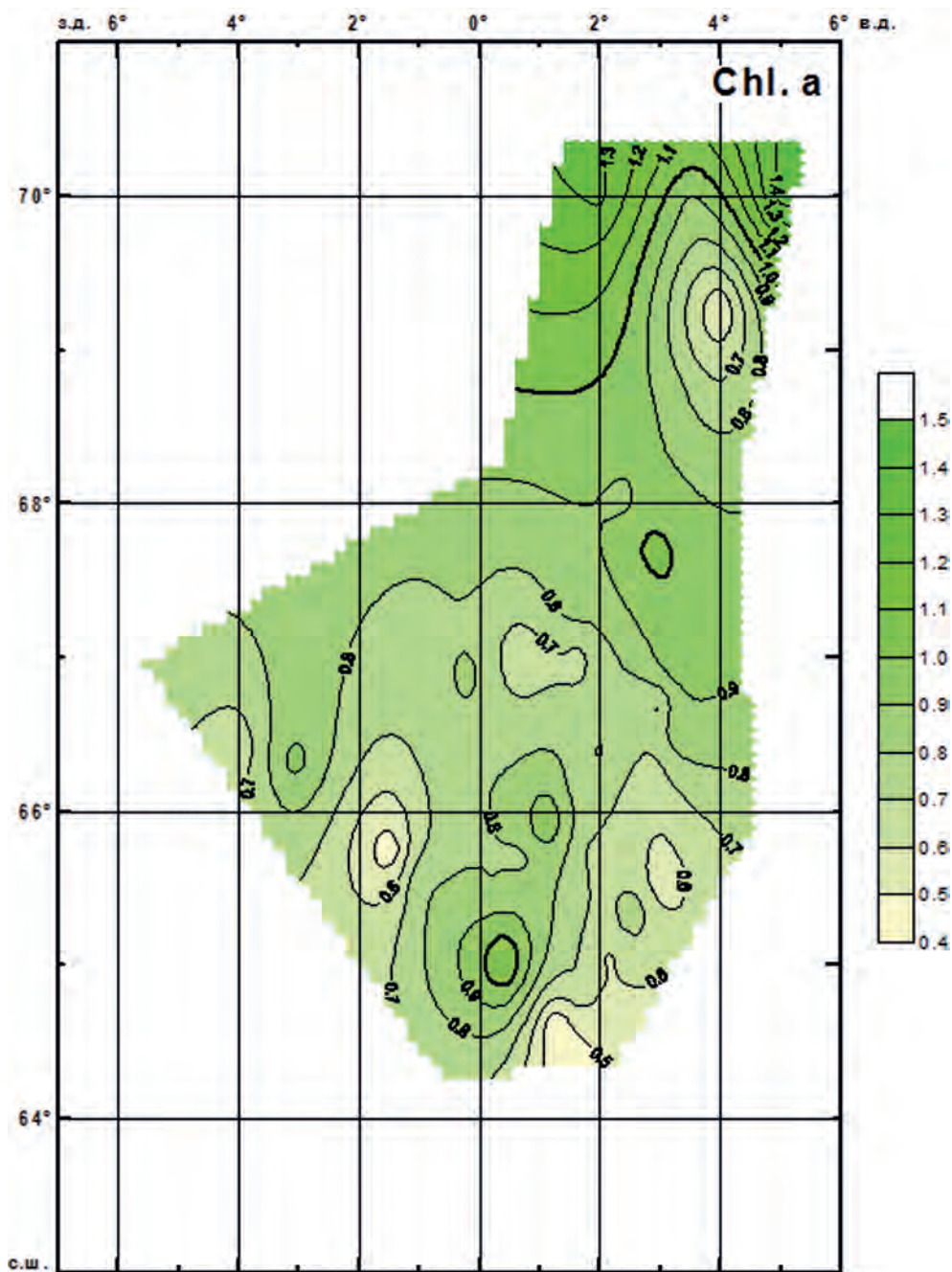


**Рисунок 6.2.** Глубина залегания нижней границы фотического слоя (м) в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

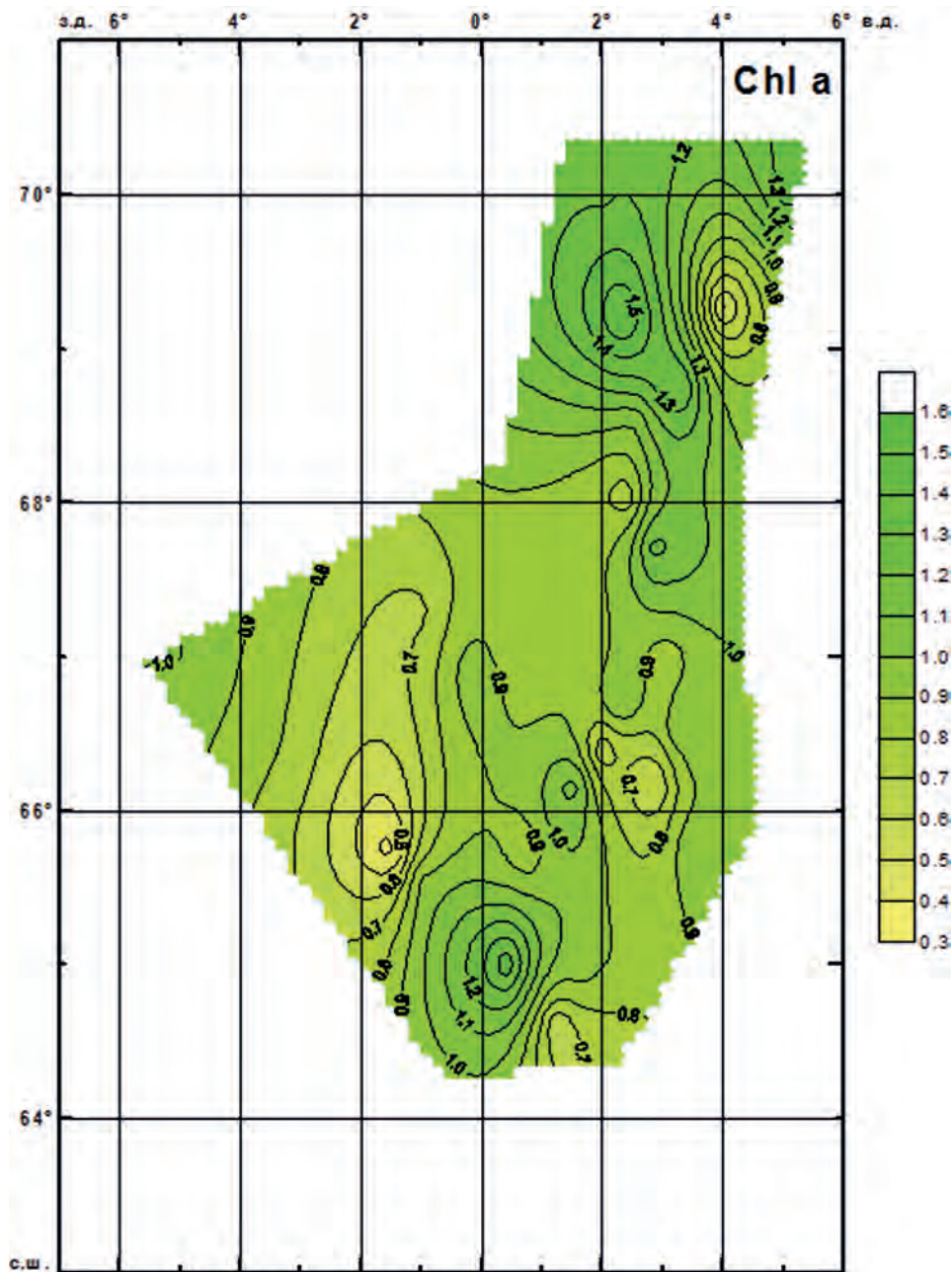
В южной части акватории в районе станция 3, где по гидрологическим данным отмечался ярко выраженный температурный градиент на глубине 35...45 м, создавались благоприятные условия для интенсивного развития фитопланктона, который в значительном количестве скапливался в верхнем однородном 40-метровом слое — суммарное количество хлорофилла "а" в фотическом слое превышало 40 мг/м<sup>2</sup>; средневзвешенное его содержание в нем — 0,76 мг/м<sup>3</sup> (рисунки 6.3–6.5). Интенсивность фотосинтеза клеток фитопланктона была достаточно высока — насыщенность вод кислородом в пределах фотического слоя составляла 104...106 %.



**Рисунок 6.3.** Суммарное содержание хлорофилла "а" (мг/м<sup>2</sup>) в фотическом слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

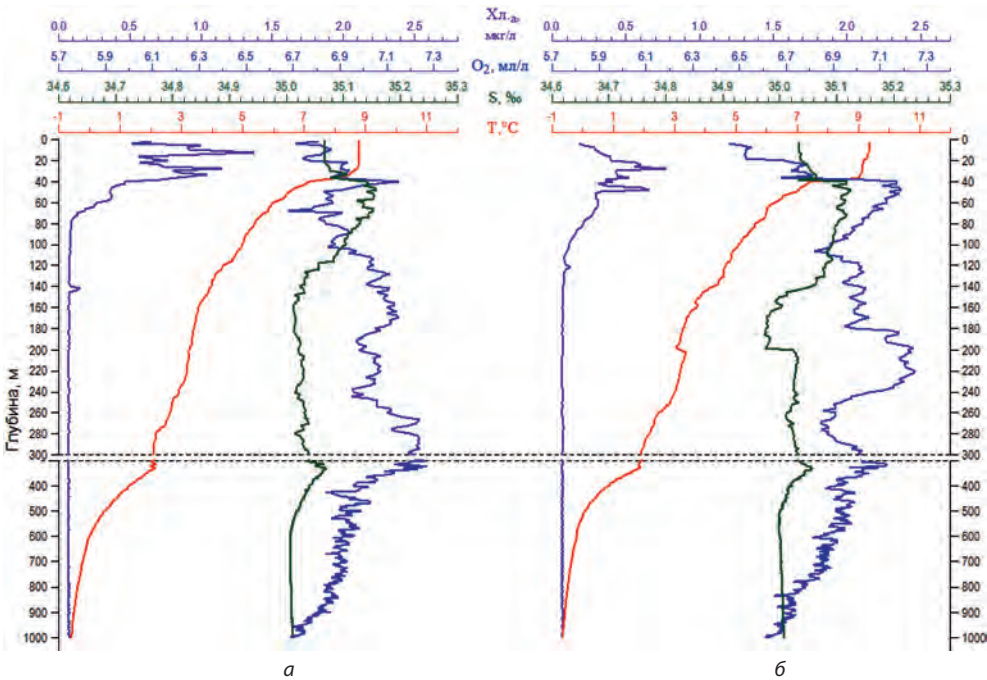


**Рисунок 6.4.** Распределение средневзвешенного содержания хлорофилла "а" (мкг/л) в фотическом слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 6.5.** Содержание хлорофилла "а" в слое с максимальной флуоресценцией фитопигментов в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

На западе района (станции 4–6, 11, 12) в зоне смешения различных типов вод Норвежского моря, в частности вод Восточно-Исландского течения и Северо-западной ветви Северо-Атлантического течения, слой максимального скопления клеток фитопланктона был заглублён до 20...30 м, где количество хлорофилла в 1,2–1,5 раза было выше, чем у поверхности (рисунок 6.6а). Для этих станций было характерно наличие одного или двух максимумов в районе термоклина или под ним на глубинах 30...38 м. Здесь отмечалась высокая прозрачность вод — 14...15 м — и толщина фотического слоя достигала 40...50 м. Суммарное количество хлорофилла в фотическом слое превышало 30 мг/м<sup>2</sup> (до 38,5 мг/м<sup>2</sup> на станции 12), средневзвешенное его содержание — около 0,8 мг/м<sup>3</sup>.



**Рисунок 6.6.** Вертикальное распределение температуры, солёности, хлорофилла “а” и растворенного кислорода на гидрологической станциях 6 (а) и 7 (б). 08.07.1997

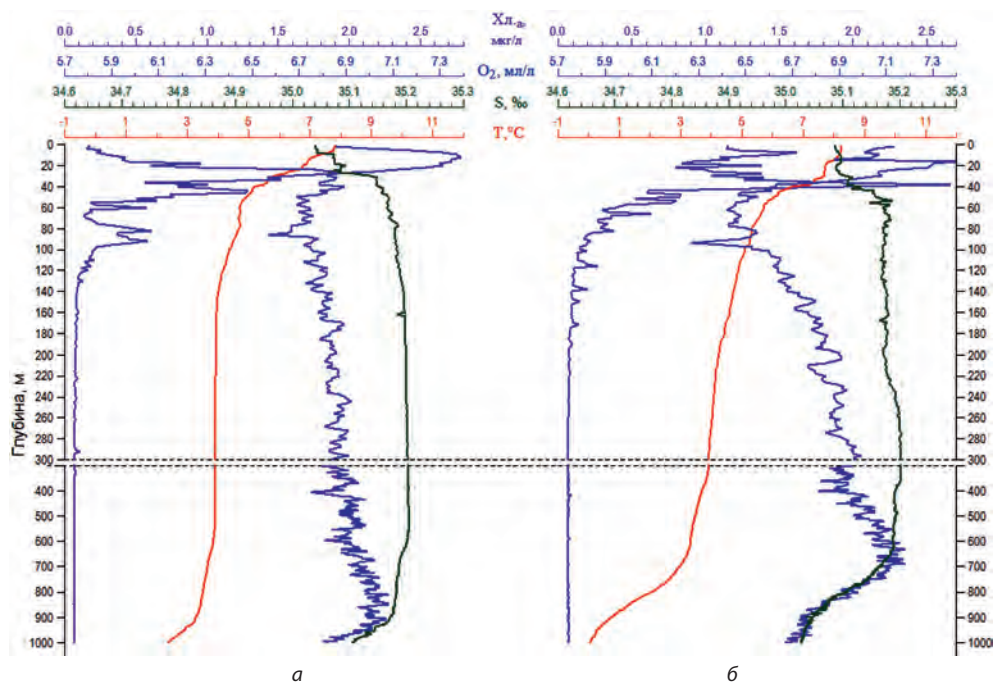
В зоне циклонического круговорота в районе станции 7, упомянутого выше, с невысокими концентрациями фитопигментов у поверхности, несмотря на высокую прозрачность вод — 15 м и толщину фотического слоя около 50 м, средневзвешенное содержание хлорофилла в нем не превышало  $0,5 \text{ мг/м}^3$ , суммарное —  $21,5 \text{ мг/м}^2$ . Это может быть связано с расположением станции во фронтальной зоне, прослеживающейся по вертикальному распределению температуры, солёности и растворенного кислорода, и со слабой стратификацией вод (рисунок 6.6б). Поверхностные воды недонасыщены кислородом; максимальная величина относительного содержания кислорода (98,6 %).

Севернее  $68^\circ$  с. ш. фитопланктон прослеживался за пределами фотического слоя до глубин 120...140 м (рисунок 6.7). В зоне минимальных концентраций у поверхности (станция 21) содержание хлорофилла резко возросло на глубине 38 м, где его количество в 4 раза превышало поверхностную концентрацию. Причём помимо основного максимума за пределами фотической зоны можно было наблюдать ещё несколько, меньших по величине, но достаточно ярко выраженных (рисунок 6.7а). Последнее может свидетельствовать о сложной структуре в зоне взаимодействия различных типов вод. Аналогичная картина наблюдалась на соседней станции (станция 22) с высоким количеством хлорофилла в поверхностном слое ( $1,38 \text{ мг/м}^3$ ), фитопланктон распространялся от поверхности до глубины 100...120 м с несколькими максимумами как в пределах фотической зоны, так и глубже (рисунок 6.7б).

На юго-востоке района, где средневзвешенное содержание хлорофилла не превышало  $0,7 \text{ мг/м}^3$ , в слое максимума —  $0,8...0,9 \text{ мг/м}^3$ , фитопланктон активно развивался в верхнем 40-метровом слое, концентрируясь над слоем скачка плотности (см. рисунок 5.31). Влияние прогретых и распреснённых прибрежных вод способствовало созданию значительных вертикальных градиентов, как по солёности, так и по температуре, что создавало благоприятные условия для интенсивного развития клеток фитопланктона. Насыщенность вод кислородом на станции 32 с наибольшим влиянием прибрежных вод на глубине максимума достигала 105,6 %.

Работы проводились в июле, т.е. в летний сезон. В этот период в поверхностном слое биогенные элементы уже почти полностью были израсходованы, и интенсивность фотосинтеза фитопланктона была невысока. В целом по акватории пересыщение кислорода составляло

2...3%, возрастая в зонах максимумов в антициклонических круговоротах — до 4...6%. Фитопланктон активно развивался в районе слоя скачка, где и отмечались, как правило, максимальная интенсивность флуоресценции клеток фитопланктона, соответственно максимум хлорофилла и максимальная величина насыщенности вод кислородом — до 109,8%.



**Рисунок 6.7.** Вертикальное распределение температуры, солёности, хлорофилла "а" и растворенного кислорода на гидрологической станциях 21 (а) и 22 (б). 08.07.1997

Содержание хлорофилла "а" в слое максимальной флуоресценции практически по всей обследованной акватории достаточно велико — от 0,7 до 1,4 мг/м<sup>3</sup>, за исключением зоны циклонического круговорота на юго-западе полигона (станция 7), где оно даже в слое максимума не превышало 0,4 мг/м<sup>3</sup> (см. рисунок 6.5).

Таким образом, наиболее богатые фитопланктоном зоны антициклонических круговоротов, выделяющиеся, в первую очередь, по распределению хлорофилла в поверхностном слое, характеризуются суммарным содержанием хлорофилла в фотическом слое — 30...50 мг/м<sup>2</sup>, средневзвешенное — 0,8...1,4 мг/м<sup>3</sup>. Ряд антициклонических круговоротов можно выделить на юге акватории: в районе станций 3, 9, в центральной части — в районе станций 33, 35, на севере — в районе станций 19, 22. На периферии круговоротов количество фитопланктона резко снижалось.

В циклонических вихрях — местах подъёма вод — происходило увеличение количества хлорофилла от их центров к периферии. Такие круговороты можно наблюдать в районе станций 7 (на западе), 40 (на юге), 21 и 23 (на севере) и целый ряд менее значимых по масштабу в наиболее детально обследованной центральной части полигона. Средневзвешенное содержание хлорофилла в фотическом слое в их центрах, как правило, не превышало 0,6...0,7 мг/м<sup>3</sup>, суммарное — 20...30 мг/м<sup>2</sup>. На периферии круговорота оно возрастало.

По всей обследованной акватории видовой состав фитопланктона был очень разнообразным. Однако в целом для всего полигона было характерно преобладание в поверхностных водах хлорофилла "а", количество хлорофилла "b" было незначительным, не превышая даже в слоях максимального скопления фитопланктона величину 0,2...0,3 мг/м<sup>3</sup>. Содержание хлорофилла "с" было в 2–2,5 раза ниже по сравнению с хлорофиллом "а".

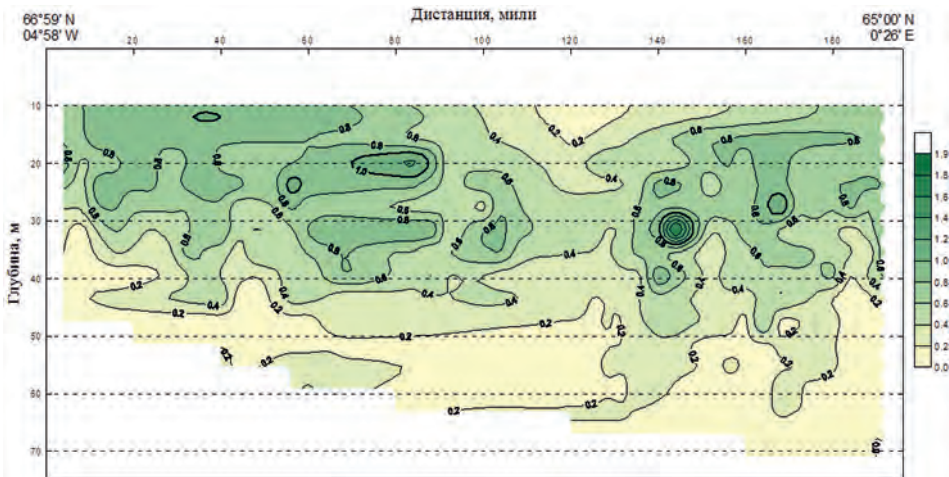
Количество феофитина "а" — продукта распада хлорофилла "а" — было невелико по всему полигону: в поверхностных водах — около 37%, в слое максимума фитопланктона — около 34%.

## 6.4. ВЫВОДЫ

Исследования содержания хлорофилла в Норвежском море, проведённые в июле 1997 г. показали наличие сложной вихревой системы в пределах полигона. Количество хлорофилла "а" было достаточно велико, как на поверхности, так и в среднем в фотическом слое, средневзвешенная величина — 0,8...1,4 мг/м<sup>3</sup>. Это позволяет приравнять эти воды в летний сезон к высокопродуктивным. Наиболее интенсивно фитопланктон развивался в зонах антициклонических круговоротов, как у поверхности, так и в слое максимума фитопланктона. Подтверждена сложная вихревая структура региона, которая прослеживалась, как по распределению хлорофилла в поверхностном слое, так по средневзвешенному его содержанию в фотическом слое. Непрерывная регистрация флуоресценции хлорофилла по глубине позволила выявить истинную картину его распределения по вертикали, оценить суммарный запас хлорофилла в фотическом слое.

В целом по обследованному району отмечено нарастание количества хлорофилла, а, следовательно, и биомассы фитопланктона, с юга на север, что свидетельствует о том, что на юге процессы весеннего цветения закончились, фитопланктон находится на фазе летней сукцессии, которая характеризуется началом падения концентрации фитопланктона и ростом количества зоопланктона. Эта фаза наиболее благоприятна для потока вещества на высшие трофические уровни, что способствует развитию промышленных объектов.

Анализ вертикального распределения хлорофилла на разрезах, полученных с помощью комплекса AquaShuttle с большой дискретностью, позволил выявить тонкую структуру, мелкие пространственные неоднородности в его распределении в водной толще (рисунок 6.8). Это связано со сложной вихревой структурой деятельного слоя в этом районе и с пятнистостью в распределении фитопланктона. Распределение хлорофилла прекрасно согласуется с распределением растворенного кислорода на разрезах, полученных AquaShuttle. Это свидетельствует о том, что вертикальное распределение кислорода и хлорофилла определяется одними и теми же факторами.



**Рисунок 6.8.** Вертикальное распределение хлорофилла "а" (мг/м<sup>3</sup>) по данным съёмки комплексом AquaShuttle на галсе № 2

Карта распределения хлорофилла на 20 м по данным комплекса AquaShuttle позволяет выявить на фоне макропроцессов, проявляющихся в виде языка «тёплых» вод с юга на север, пятнистость в его распределении. Типичной чертой вертикальной структуры хлорофилла в эвфотической зоне является наличие одного или двух максимумов, максимальная первичная продукция отмечалась в верхнем максимуме на глубине 10...20 м.

Полученные с помощью комплекса AquaShuttle детальные поля распределения такой неконсервативной характеристики как хлорофилл проявляют динамическую картину, вихри, а также микро- и мезомасштабную пространственно-временную изменчивость. Время существования вихрей намного больше, чем временная изменчивость хлорофилла.



# Глава 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭВФОТИЧЕСКОМ СЛОЕ

## 7.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными задачами исследований продукционно-деструкционных процессов в рамках Эксперимента являлись:

1. Получение репрезентативных данных о величине первичной продукции в данном районе путём сравнения результатов, полученных тремя различными методами.
2. Исследование продукционно-деструкционных процессов в районе в связи с необходимостью верификации космических снимков и выявления возможного влияния гидродинамических и гидробиологических процессов (вихревых образований, содержания и распределения хлорофилла, планктонных организмов, органического вещества) на величину первичной продукции данного района.
3. Исследование путей возможной биологической трансформации углерода по соотношению стабильных изотопов  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ .
4. Определение численности микроорганизмов для оценки величины деструкции и корреляции с величинами взвешенного белка.

## 7.2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Для получения репрезентативных данных первичная продукция в этом рейсе определялась тремя различными методами: скляночным в кислородной модификации (Винберг, Калер, 1960), радиоуглеродным (Сапожников и др., 2000) и гидрооптическим методом, основанном на одновременном определении *in situ* хлорофилла, подповерхностной освещённости, температуры и переменной флуоресценции при зондировании фотического слоя погружным прибором ПРИМПРОД (изготовитель — биофак МГУ) (Левашов, 2014).

Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Кислородный метод имеет малую чувствительность, но даёт однозначные представления о чистой, валовой первичной продукции и о величине деструкции. Данные этого метода наиболее просто сопоставляются с полями распределения растворённого кислорода, фитопигментов, взвешенного органического углерода и биогенов.

Радиоуглеродный метод определения первичной продукции по  $^{14}\text{C}$  обладает очень высокой чувствительностью, но, к сожалению, не даёт однозначных результатов и, как было установлено (Сапожников и др., 2000) приводит к существенному занижению величин первичной продукции, когда не учитываются потери меченого органического вещества при фильтрации и при удалении карбонатов.

Зондирующий гидрооптический прибор требует настройки и калибровки в природных водоёмах, учитывая реальное состояние фитоцены и видовой состав водорослей.

Тем не менее, сравнение данных, полученных этими методами, позволило наиболее точно охарактеризовать продукционно-деструкционные процессы в исследуемом районе.

Отбор проб проводился кассетой пластиковых батометров Нискина объёмом 1,8 л, укреплённой на STD-зонде NeilBrown из двух горизонтов: поверхностного (0...1 м) и из максимума концентрации хлорофилла "а" (от 8 до 48 м).

### 7.2.1. КИСЛОРОДНЫЙ МЕТОД

Для определения величины первичной продукции (ПП) кислородным методом пробы с поверхности и с горизонта максимального содержания хлорофилла (показания датчика SeaTeach) отбирались в калиброванные светлые склянки объёмом 0,35 л, изготовленные из прозрачного пластика с гидрофобной поверхностью, и экспонировались затем в экспериментальных бассейнах в условиях, близких к *in situ* по освещённости и температуре. Для создания освещённости около 1 % от поверхностной бассейн затемнялся синей тканью различной плотности. Экспозиция проб составляла от 3 до 7 ч. Пробы отбирались и экспонировались только в дневное время (с 6 до 19 ч). Определение кислорода проводилось по методу Винклера (Сапожников и др., 2000) с использованием автоматической бюретки Дженконса (Великобритания) (Сапожников и др., 2000). Точность метода составляла  $\pm 0,01$  мл/л. Для определения ПП с одного горизонта отбиралось три пробы. Как правило, параллельные титрования кислорода (после экспозиции в экспериментальном бассейне) давали хорошую сходимости (расхождения не превышали 0,01...0,02 мл  $O_2$ /л).

Для перехода от часовой ПП к суточной использовались коэффициенты, экспериментально полученные в работе (Агатова и др., 1996) (Агатова и др., 1996) для разных периодов светового дня. С 6 до 19 ч значения этих коэффициентов изменялись от 14 до 19.

### 7.2.2. РАДИОИЗОТОПНЫЙ МЕТОД

Радиоизотопный метод определения первичной продукции (Сапожников и др., 2000) основан на измерении интенсивности образования органического вещества планктоном из растворённых в воде минеральных форм углерода. Для этого в образец исследуемой воды добавляют раствор  $NaH^{14}CO_3$  и через некоторый период времени определяют количество  $^{14}C$  в органическом веществе планктона.

На основании полученных данных проводят расчёт первичной продукции по формуле:

$$\text{мг C}/(\text{л} \cdot \text{сут}) = \frac{r(S + A) \times 24}{Rt},$$

где  $r$  — радиоактивность органического вещества (имп/мин);  $S + A$  — содержание растворённого минерального углерода в образце воды с учётом внесённого  $NaH^{14}CO_3$  (для морской воды этот параметр можно считать константой, равной 16 мг C/л); 24 — часы в сутках;  $R$  — начальная радиоактивность внесённого во флаконы  $NaH^{14}CO_3$  (имп/мин);  $t$  — продолжительность экспозиции (ч).

Во время рейса конкретные исследования проводились по следующей методике. Пробы немедленно разливали в стеклянные флаконы объёмом 100 мл с притёртыми пробками. В каждый флакон автоматической пипеткой добавляли по 0,4 мл стерильного раствора  $NaH^{14}CO_3$  (12,5 мкКи) приготовленного на морской воде и экспонировали в течение 24 ч в открытом бассейне на палубе корабля. При каждом измерении использовали два прозрачных флакона для определения суммарной интенсивности фото- и хемосинтеза; и два тёмных флакона покрытых алюминиевой фольгой. Один из них использовали для определения интенсивности хемосинтеза, другой применяли в качестве контроля. В него, перед добавлением раствора  $NaH^{14}CO_3$ , вносили сухой мертиолят ( $C_2H_5ONaHg$ ) до конечной концентрации 0,1 г/л. При этом все биологические процессы прекращались.

По завершении экспозиции содержимое флаконов немедленно фильтровали через капроновые мембранные фильтры диаметром 25 мм с размером пор 0,2 мкм. Затем, для удаления остаточных карбонатов, фильтры 3–4 раза промывали морской водой подкислённой фосфорной кислотой до  $pH = 2 \dots 3$ . Подсушенные на воздухе фильтры упаковывали в сцинтилляционные стаканы для последующего определения их радиоактивности.

Всего было собрано 62 образца воды на 31-й станции. Измерение радиоактивности фильтров были проведены в Институте микробиологии РАН на жидкостном сцинтилляционном счётчике Rack-Beta 1219 (LKB, Швеция) в толуольном сцинтилляторе ЖС-106.

### 7.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ

На тех же горизонтах, где проводили измерения первичной продукции, отбирали образцы воды для определения численности микроорганизмов. Для этого 10 мл воды фильтровали через поликарбонатные нефлуоресцирующие мембранные фильтры диаметром 25 мм и размером пор 0,2 мкм. Всего было отобрано 65 проб. Подсчёт микроорганизмов был проведён методом люминесцентной микроскопии в Институте микробиологии РАН.

### 7.2.4. МЕТОДИКА СБОРА ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНО-ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА

Природный углерод состоит из двух стабильных изотопов —  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ . Их соотношение в различных углеродсодержащих соединениях может значительно варьировать. Одним из основных факторов определяющих изотопный состав углерода являются биологические процессы. Соответственно, по соотношению стабильных изотопов можно составить представление о происхождении и возможных путях биологической трансформации углерода в исследуемых образцах воды.

Отбор проб проводили на 17 станциях с поверхностного горизонта. Для исследования изотопного состава растворённого минерального углерода брали 100 мл воды и фиксировали мертиолятом, как описано выше. Для аналогичных исследований взвешенного органического вещества от 4 до 10 л воды фильтровали через предварительно прокалённые при 450 °C стеклянные фильтры GF/F (США) диаметром 45 мм и размером пор 0,45 мкм. Все последующие работы с собранными образцами были проведены в Институте микробиологии РАН.

### 7.2.5. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОМ ПРИМПРОД

Компьютер вместе с бортовым измерительным блоком был расположен в кормовой исследовательской лаборатории. Зондирующее устройство весом 10 кг постоянно находилось на кормовой палубе и было соединено с бортовым блоком коммутации и компьютером 100-метровым кабелем. Зондирующее устройство погружали с помощью кормовой лебёдки, 6-миллиметровый трос которой был пропущен через блок П-образной кран-балки на корме судна. Погружение и подъём зонда проводили с постоянной скоростью 15...20 см/с. Измерение параметров и считывание информации с датчиков зонда производится автоматически по заданной программе в процессе опускания. Значения параметров с датчиков зонда поступают в память компьютера и сразу возникают на экране дисплея в виде графика зависимости регистрируемого параметра от глубины или времени, а также накапливаются в памяти компьютера для дальнейшей обработки.

В качестве контроля за получением истинных значений величины переменной флуоресценции был использован портативный флуориметр, сконструированный на биологическом факультете МГУ, с помощью которого проводили контрольное измерение величины максимальной флуоресценции  $F_m$ , блокируя электрон-транспортную цепь фотосинтеза клетки с помощью добавления в измеряемую пробу клеток фитопланктона ингибитора электронного транспорта DCMU (диурон) в концентрации  $10^{-7}$  моль/л.

Важным преимуществом применяемого зонда является возможность использования его для определения потенциальной продуктивности в тёмное время суток, благодаря которому возможно введение нормированных по энергетической величине освещённости данных потенциальной продукции. Это позволяет сравнивать потенциальную продуктивность в дневное и ночное время. В дальнейшем такая обработка данных может быть введена в компьютерную программу для более эффективного использования получаемых данных.

## 7.3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 7.3.1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ КИСЛОРОДНЫМ МЕТОДОМ

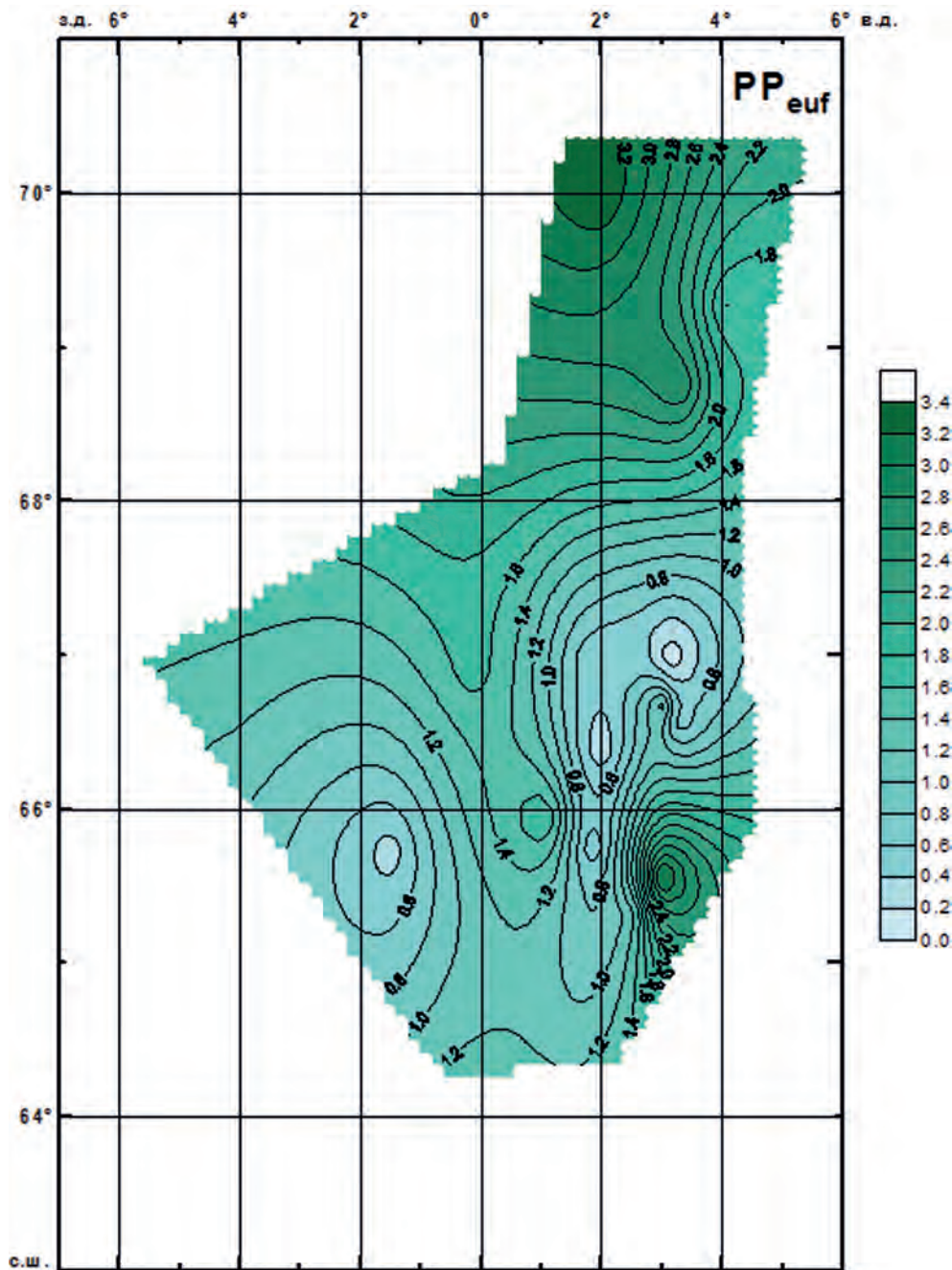
Изучение продукционно-деструкционных процессов кислородным методом проводилось на 20 станциях (Романо, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998). В таблице 7.1 приведены характеристики продукционно-деструкционных процессов.

**Таблица 7.1** Характеристики продукционно-деструкционных процессов

№ станции	ПП в эвфотическом слое, г С/(м <sup>2</sup> ·сут)	БПК <sub>1</sub> , г С/(м <sup>2</sup> ·сут)	Чистая ПП в эвфотическом слое, г С/(м <sup>2</sup> ·сут)	ПП в поверхностном слое, г С/(м <sup>2</sup> ·сут)
1	2,25	0,86	1,39	0,19
4	1,16	–	1,16	0,06
7	1,40	1,10	0,30	0,12
10	0,77	0,33	0,44	0,07
11	2,53	0,83	1,70	0,12
12	2,21	0,61	1,60	0,20
15	1,22	0,75	0,47	0,09
16	0,70	0,65	0,05	0,09
19	3,16	0,43	2,73	0,17
20	3,90	0,50	3,40	0,28
23	3,11	1,47	1,60	0,06
24	3,57	0,76	2,80	0,84
27	2,31	0,51	1,79	0,14
28	1,68	1,14	0,54	0,16
31	1,05	0,81	0,24	0,03
32	3,65	0,35	3,30	0,26
34	1,37	0,19	1,18	0,09
35	2,08	0,28	1,80	0,14
38	0,30	1,50	0,94	0,04

Рассчитанные по результатам этих исследований величины чистой суточной ПП под квадратным метром поверхности варьировали в широких пределах: от 0,05 до 3,4 г С/(м<sup>2</sup>·сут). Наибольшие величины отмечались в северной части исследованного района (2,7; 2,8; 3,4 г С/(м<sup>2</sup>·сут) на станциях 19, 20, 24 соответственно. В юго-западном направлении величины ПП последовательно уменьшались (рисунок 7.1). Такое распределение ПП обусловлено тем, что в северной части района в момент исследования наблюдалось цветение диатомовых и перидиниевых водорослей весенне-летнего характера, с высокими значениями биомассы, в то время как в южной и юго-западной части отмечено летнее состояние фитоценоза, основу которого составляли обычные для данного района и сезона диатомовые, имевшие средние значения биомассы. Высокие значения ПП в северной части района подтверждаются данными по содержанию и распределению хлорофилла и значений переменной флуоресценции, которая характеризует физиологическое состояние водорослей и их способности к продуцированию. Следует также отметить, что именно в северной части района наблюдались наиболее высокие значения процентного содержания растворённого кислорода в слое максимума хлорофилла (см. рисунок 5.13).

На станции 7 с низкой величиной ПП 0,3 г С/(м<sup>2</sup>·сут) был отмечен отличный от окружающих станций состав фитоценоза (отмершие формы золотистой водоросли *Phaeocystis*), минимальные концентрации хлорофилла и, кроме того, содержание растворённого кислорода в воде поверхностного слоя на этой станции и на соседней 8 не превышало 99 %, (см. рисунок 5.3), что также свидетельствует о низкой интенсивности продукционных процессов. По данным гидробиологической съёмки эти станции также характеризовались низкими значениями биомассы фитопланктона.



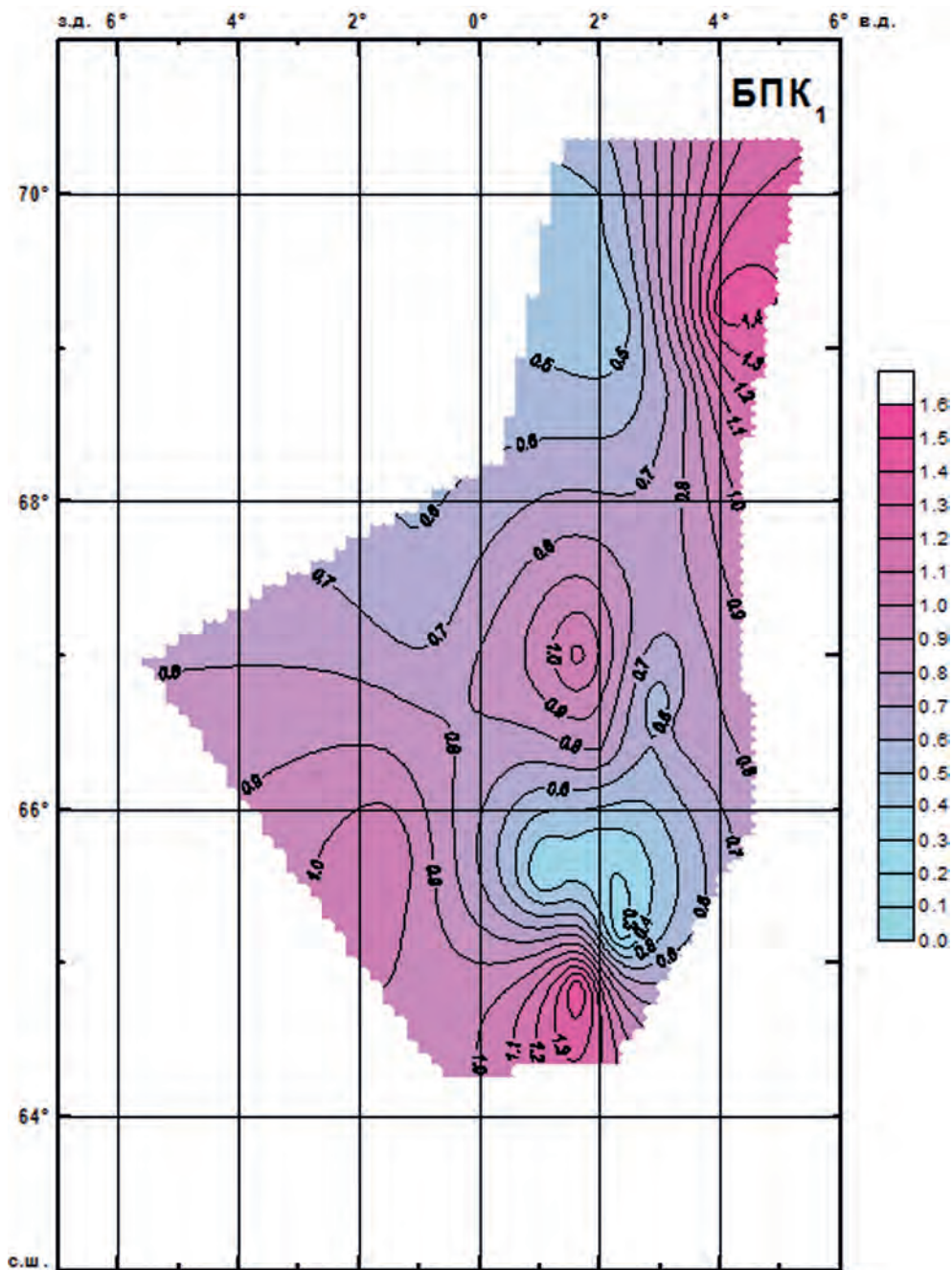
**Рисунок 7.1.** Распределение чистой первичной продукции (г C/m<sup>2</sup> сут) в эвфотическом слое Норвежского моря по определению кислородным скляночным методом. 06.07–17.07.1997

Сложное распределение величин ПП с чередованием высоких и низких значений наблюдалось на западной границе НЭЗ на периферии ЗВНТ (0.05; 1.79; 0.47 г C/(м<sup>2</sup>-сут) на станциях 15, 16, 27, соответственно), связанное, вероятнее всего, с наличием здесь мезомасштабных вихревых образований.

В юго-восточной части района высокие значения величины первичной продукции 3,3 г C/(м<sup>2</sup>-сут) на станции 32 маркировали заток прибрежных, распреснённых вод норвежского шельфа,

в которых отмечались высокие значения биомассы развивающихся летних форм перидиниевых водорослей. Характерно, что в районах распространения развивающегося планктона величины деструкции ( $BPK_1$ ) были минимальными (рисунок 7.2).

Для центральной части исследованного района (станции 1, 11, 12, 33) характерны величины ПП от 1,39 до 1,8  $г С / (м^2 \cdot сут)$  при средних значениях величин биомассы фитопланктона и концентраций хлорофилла.



**Рисунок 7.2.** Биологическое потребление кислорода ( $г С / м^2 \cdot сут$ ) в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

### 7.3.2. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.

В ходе исследований проведены зондирования на 42 станциях до глубины 50...80 м. Глубина погружения зонда, практически во всех случаях, охватывала глубину фотической зоны. Для каждой станции имеются сводные таблицы величин, измеренных параметров, полученные при погружении зонда, а также распечатанные графики зависимости измеренных параметров от глубины погружения с рассчитанной в относительных единицах величиной продукции по углероду. Данные по исследованному полигону на широтах между 64,4 и 66,3° с.ш. получены в реальных единицах продукции.

На основании полученных результатов построена карта непрерывных значений дневной продуктивности в районах исследований, построена также схема распределения значений продукции (в кодах) приведённых к единице освещённости — 1 Вт/м<sup>2</sup> для каждой станции.

Величина, показывающая эффективность разделения зарядов в реакционных центрах,  $(F_m - F_0)/F_m$ , является в то же время характеристикой физиологического состояния исследуемой популяции клеток фитопланктона. Этот факт имеет немаловажное значение, поскольку связан с прогнозом первичной продуктивности на ближайшее время. Проведено картирование средних значений этого показателя для всего района исследований.

Распределение фитопланктона по глубинам было не постоянным, однако основная его масса на большинстве станций располагалась в фотическом слое над термоклинном. Иногда, например, на станциях 4–9, в распределении хлорофилла наблюдалось несколько максимумов в слоях над термоклинном. В некоторых случаях повышенные концентрации хлорофилла наблюдались в пределах термоклина приблизительно до его середины, а затем резко уменьшаются в более глубоких слоях под термоклинном. Реже можно наблюдать максимальные скопления флуоресцирующего фитопланктона внутри слоя температурного скачка (станции 12 и др.). Величина переменной флуоресценции фитопланктона в этих случаях показывает достаточно высокую эффективность фотосинтеза в этом месте.

Результаты зондирования, представленные в виде графиков зависимости измеряемых параметров от глубины погружения зонда (приложение 2) показывают, что глубина залегания продуктивного слоя не чётко коррелирует с максимумами флуоресценции хлорофилла. Достаточно стабильная корреляция этих параметров наблюдается для подавляющего числа станций только в поверхностном горизонте до глубин 8...10 м. Имеется большое разнообразие в характере изменения продукции по горизонтами и содержанием хлорофилла. В качестве иллюстрации можно выделить два характерных случая сопоставления продуктивных слоёв и слоёв с максимумами флуоресценции, соответствующими обилию фитопланктона. Пример слабой корреляции ПП с максимумом хлорофилла — станции 32, 30, 26, 18, 14, 9, 6. На этих станциях нет чётко выраженного слоя максимальной продуктивности. На станциях такого типа величина продукции максимальна в поверхностных горизонтах и с большей или меньшей скоростью убывает по глубине в соответствии с величиной освещённости. Примером обратной зависимости может быть случай, когда кроме поверхностного максимума продуктивности наблюдалось несколько максимумов, привязанных к максимуму флуоресценции хлорофилла. Как, например, на станциях 29, 28, 21, 17, 7, 4. Чаще всего такой максимум продуктивности коррелирует с величиной обилия фитопланктона расположенного над слоем температурного скачка.

По предварительным данным в максимумах флуоресценции над слоем скачка в составе крупных объектов фитопланктона преобладают перидиновые водоросли, у которых хлорофилл занимает только некоторую часть светособирающего комплекса клеток. Корреляции между первичной продукцией, рассчитанной на основе хлорофильного метода и продукции, рассчитанной по кислороду могут различаться в районах с различным видовым составом фитопланктона.

В целом по исследуемому району при расчёте под квадратным метром поверхности в распределении продуктивных зон наблюдаются две области максимальных величин. Одна, расположенная на севере района, совпадает с областью массового развития весенне-летних

форм фитопланктона. Вторая, в южной части района, приурочена к зоне развивающихся в тёплых распреснённых водах молодых форм перидиниевых водорослей.

Такой характер распределения продуктивных зон хорошо коррелирует с данными средних значений переменной флуоресценции и отражает, скорее всего, потенциальную способность данного развивающегося сообщества к интенсивному продуцированию.

## 7.4. ВЫВОДЫ

По результатам проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

Рассчитанные по результатам определения кислородным методом величины ПП позволяют охарактеризовать этот район как высокопродуктивный, так как большинство рассчитанных величин чистой ПП (12 из 20) превышали  $1 \text{ г C}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ .

В распределении величин ПП выявлены две области максимальных значений. Первая располагалась на севере района и была связана с цветением диатомовых и перидиниевых водорослей весенне-летнего типа. Вторая, в южной части района, — с локальным развитием фитопланктона летнего типа в тёплых распреснённых водах.

Характер распределения величин ПП, полученных кислородным методом и методом флуоресцентного зондирования на дневных станциях показало, что в распределении указанных величин сохранялись общие закономерности.

В распределении средних значений переменной флуоресценции, которая входит составной частью в расчёт величины ПП и характеризует физиологическое состояние исследуемой популяции клеток фитопланктона, выявляются те же зоны максимальных значений. Следует отметить, что в южной части района показатели физиологического состояния были выше, чем в северной. Это нам представляется закономерным, так как в этой части района преобладают развивающиеся молодые формы фитопланктона. Возможно это продукция микроформ фитопланктона, который не облавливается сетью Джели. При большой интенсивности процессов метаболизма микропланктон может не давать большого прироста биомассы, но будет отражён в высоких концентрациях углеводов.



# Глава 8. БИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 8.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными задачами биохимических исследований являлись:

1. Оценка запаса ОВ в районе работ для определения трофности района и установления пищевой ценности ОВ для высших гидробионтов данной экосистемы.
2. Оценка скоростей круговорота ОВ и основных биогенных элементов в продукционно-деструкционном цикле и определение доли в первично-продуцированном ОВ вещества, созданного на рециклинге фосфатов.
3. Выявление динамичных структур в водных массах по распределению концентраций органического углерода и таких основных биохимических компонентов, как углеводы, белок, липиды и нуклеиновые кислоты (НК).

## 8.2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ БИОХИМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Отбор проб для биохимического анализа проводили из пластиковых батометров зондирующего комплекса NeilBrown. Взвесь собирали на стекловолоконистые фильтры GF/F (0,5 мкм), а в полученном фильтрате определяли растворенный органический углерод ( $C_{орг}$ ). Из собранной взвеси вместе с фильтром готовили гомогенаты в ручном стеклянном гомогенизаторе. Затем в полученных гомогенатах определяли концентрации основных биохимических компонентов взвешенного ОВ (белков, углеводов, липидов, НК), а также измеряли активности ферментов ЭТС и щелочной фосфатазы.

Все определения проводили непосредственно на борту судна. Время с момента отбора проб воды и до соответствующих анализов не превышало 20 ч.

Углерод  $C_{орг}$  определяли методом высокотемпературного ( $680^{\circ}$ ) каталитического сжигания на ТЭС-500. Использовали смешанный катализатор, состоящий из чередующихся слоев платиновых сеточек и шариков из окиси алюминия с напыленной на них платиной. Аликвота на сжигание составляла 60 мкл.

Непосредственно перед сжиганием пробы воды освобождали от карбонатов. Для этого воду подкисляли 0,6 н HCl и продували в течение 10 мин воздухом без  $CO_2$  при скорости потока 150...200 мл/мин.

Прибор калибровали по глюкозе. Стандарты готовили непосредственно перед определением из основного раствора, содержащего 100 мг С/л. Калибровку проводили в начале и в конце каждой серии определений.

В основе метода определения взвешенного белка лежит интенсивное развитие синей окраски в результате реакции полипептидных связей с  $CuSO_4$  и ароматических аминокислот, входящих в состав белков, с вольфрамомолибдатным комплексом (реактив Фолина). Максимум поглощения образующегося окрашенного комплекса —  $\lambda = 750$  нм.

Взвешенные липиды экстрагировали смесью хлороформ:этанол:метанол в соотношении 2:1:1 по объёму. В экстрактах липиды определяли по образованию окраски в результате сульфопосфованилиновой реакции. Максимум поглощения окрашенного комплекса —  $\lambda = 530$  нм. Контролем при определении взвешенных липидов служил органический экстракт из суспензии бланкового фильтра GF/F.

Определения взвешенных углеводов проводили триптофановым методом (с L-триптофаном), для которого характерна независимость образующейся окраски анализируемых проб

от величины солёности в широком диапазоне изменения её величин (0...35 ‰). Химическая сущность метода заключается в том, что при кислотном гидролизе взвеси, образующиеся моносахаридные единицы, преобразуются в фурфурольные производные. Эти производные, количественно реагируя с добавленным в анализируемый раствор L-триптофаном, образуют окрашенные комплексные соединения, интенсивно поглощающие свет при  $\lambda = 540$  нм.

Определение взвешенных НК основано на расщеплении олиго- и полинуклеотидов при кислотном гидролизе в 0,5N HClO<sub>4</sub> на мононуклеотиды, которые интенсивно поглощают свет в ультрафиолетовой области спектра при 260...280 нм.

По сумме основных биохимических компонентов во взвеси рассчитывали концентрации взвешенного органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ). Коэффициент пересчёта ОВ в  $C_{\text{орг}}$  принимали равным 2.

Для определения активности ферментов к полученной суспензии взвеси добавляли 0,1N глициновый буфер с тритоном X 100 (до конечной концентрации его в растворе 0,03 объёмных процента) для более полного высвобождения внутриклеточных ферментов.

Активность щелочной фосфатазы определяли с паранитрофенилфосфатом (п-НФФ) в качестве субстрата. Концентрации п-нитрофенола, образовавшегося в результате отщепления фосфатного радикала от п-НФФ, измеряли спектрофотометрически при  $\lambda = 420$  нм. Измерение фосфатазной активности проводили в условиях максимальной скорости.

Активность щелочной фосфатазы характеризовали удельной и общей активностью. Удельная активность показывает, какое количество фермента отщепляется за 1 ч в расчёте на 1 мг белка взвеси. Общая активность фосфатазы определяет количество фермента минерализованного фракцией взвеси из 1 л морской воды.

В основе метода определения активности ферментов ЭТС лежит принцип передачи электронов от органических субстратов на кислород, а на производные хлорида фенилтетразолия. В результате восстановления этих производных образуются формазаны с максимумом поглощения при  $\lambda = 490$  нм.

Активность ферментов ЭТС также характеризовали удельной и общей активностью. Удельная активность показывает, какое количество O<sub>2</sub> поглощается в 1 ч на 1 мг белка, а общая активность показывает, какое количество O<sub>2</sub> расходуется за 1 ч в 1 л морской воды или какое количество ОВ окисляется за 1 ч в 1 л морской воды.

Результаты по скоростям реакций, катализируемым соответствующими ферментами, были приведены к температуре *in situ*, исходя из соответствующих энергий активации этих реакций.

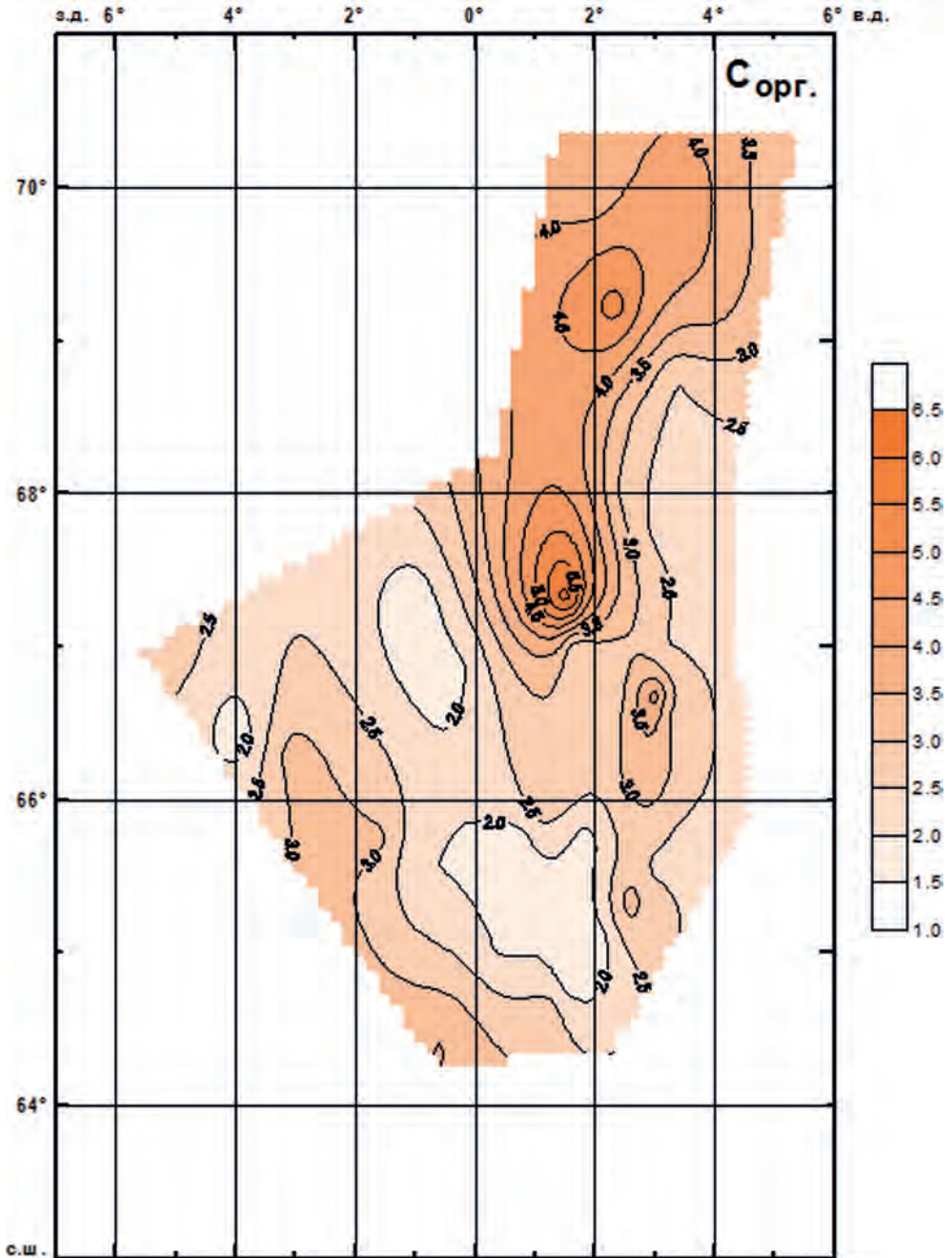
Определение белков, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот во взвеси, а также активности ферментов щелочной фосфатазы и ЭТС проводили на спектрофотометре UV-VIS 265 фирмы «Шимадзу», а растворенного органического углерода — на высокотемпературном анализаторе ТОС-500 той же фирмы.

### 8.3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

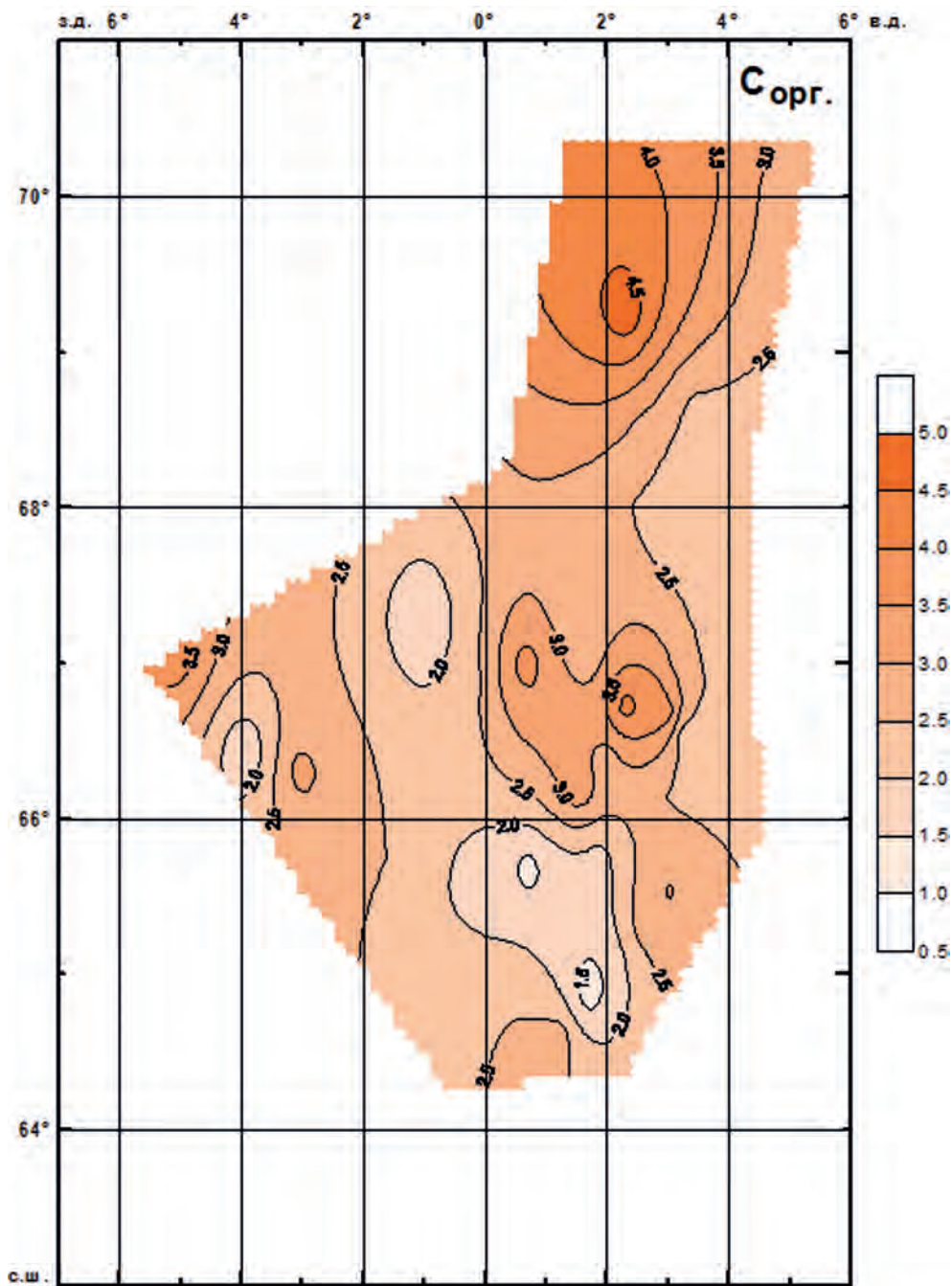
Впервые в центральной глубоководной части Норвежского моря была выполнена подробная съёмка распределения концентраций растворенного и взвешенного органического углерода (Романо, 1998; Романов, Сапожников, 1998; Romanov, 1998).

Данные показали большую изменчивость концентраций, как в поверхностных, так и в глубинных водах (рисунки 8.1–8.6). Концентрации растворенного  $C_{\text{орг}}$  в фотическом слое меняются в пределах 1,2...6,4 мг/л. В тех же пределах изменяется содержание  $C_{\text{орг}}$  и по вертикали (рисунки 8.7–8.9). Такая изменчивость обусловлена, с одной стороны, динамичностью гидрологических процессов, а с другой — интенсивностью биологических процессов в районе исследований. Так, в районе ЗВНТ зафиксированные максимальные и минимальные значения концентраций растворенного  $C_{\text{орг}}$  (см. рисунки 6.1–6.3) связаны с наличием вихревых

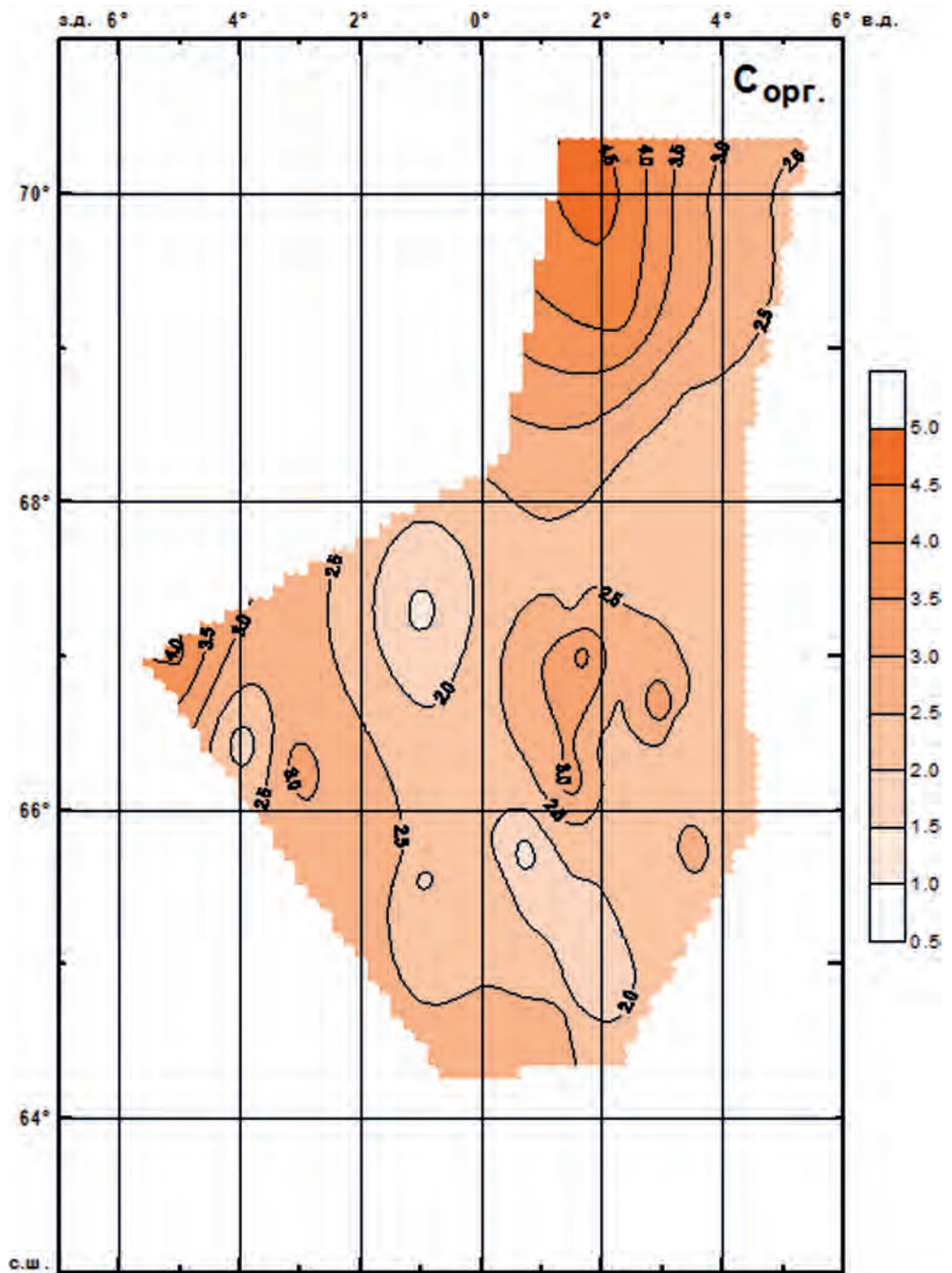
образований здесь. В то время как максимальные концентрации на семидесяти широтах обусловлены интенсивным первичным продуцированием ОВ. Отклонения от классического распределения концентраций  $C_{\text{орг}}$  по вертикали — уменьшение с глубиной (рисунки 8.6, 8.10), наблюдаемые на целом ряде станций, объясняются проникновением на глубину «молодых» холодных вод (рисунки 8.8, 8.11).



**Рисунок 8.1.** Распределение растворенного органического углерода (мг/л) в поверхностном слое в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



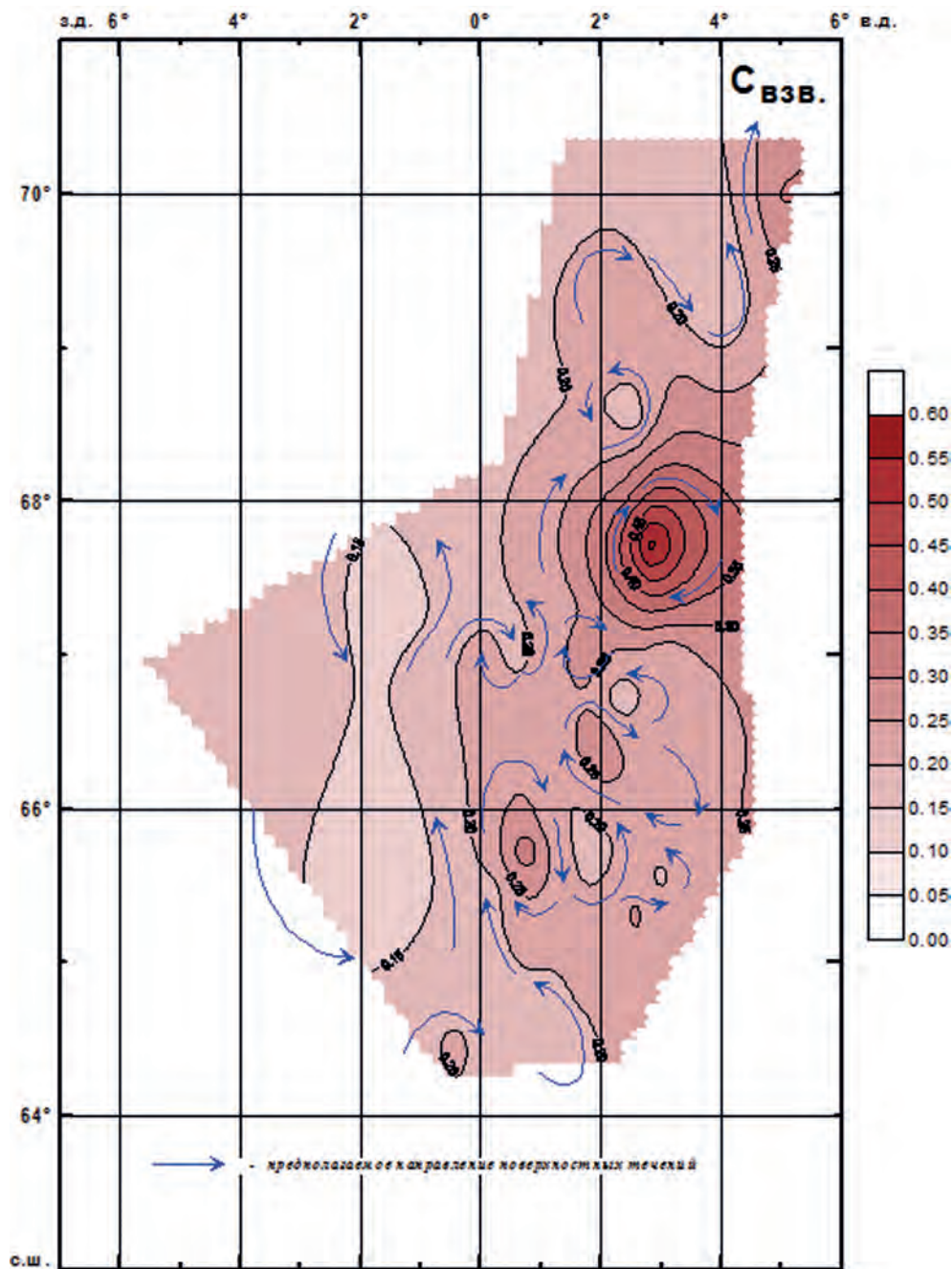
**Рисунок 8.2.** Распределение растворенного органического углерода (мг/л) на горизонте 20 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



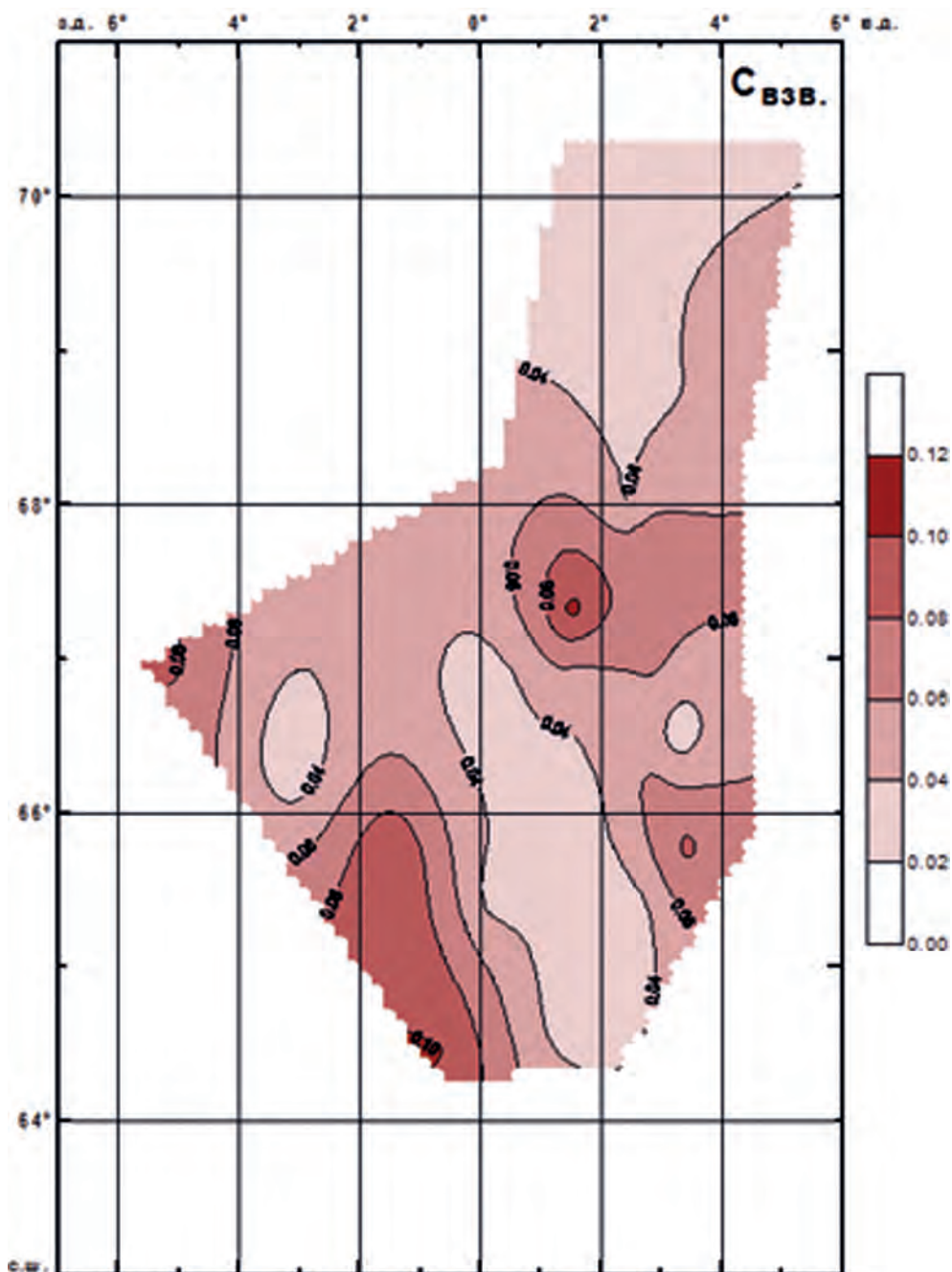
**Рисунок 8.3.** Распределение растворенного органического углерода (мг/л) на горизонте 50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 8.4.** Распределение растворенного органического углерода (мг/л) на горизонте 1000 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

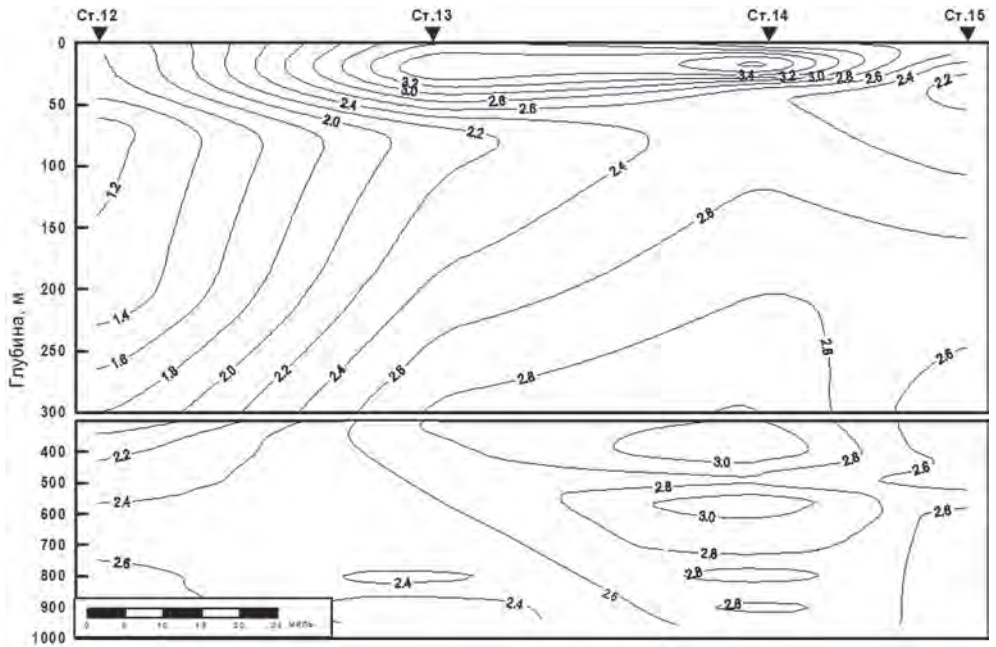


**Рисунок 8.5.** Распределение взвешенного органического углерода (мг/л) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997

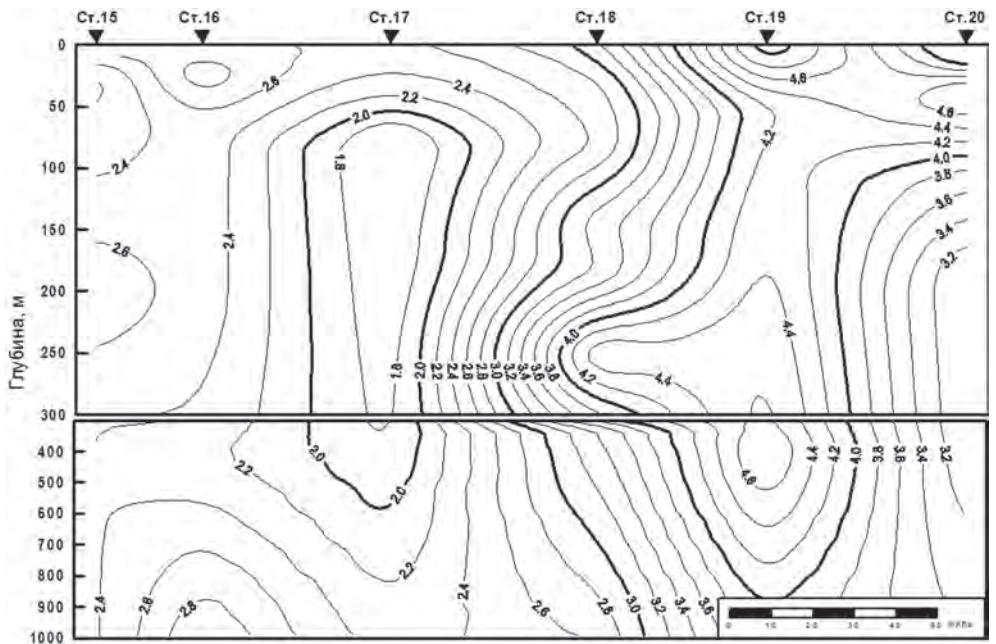


**Рисунок 8.6.** Распределение взвешенного органического углерода (мг/л) на горизонте 1000 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997

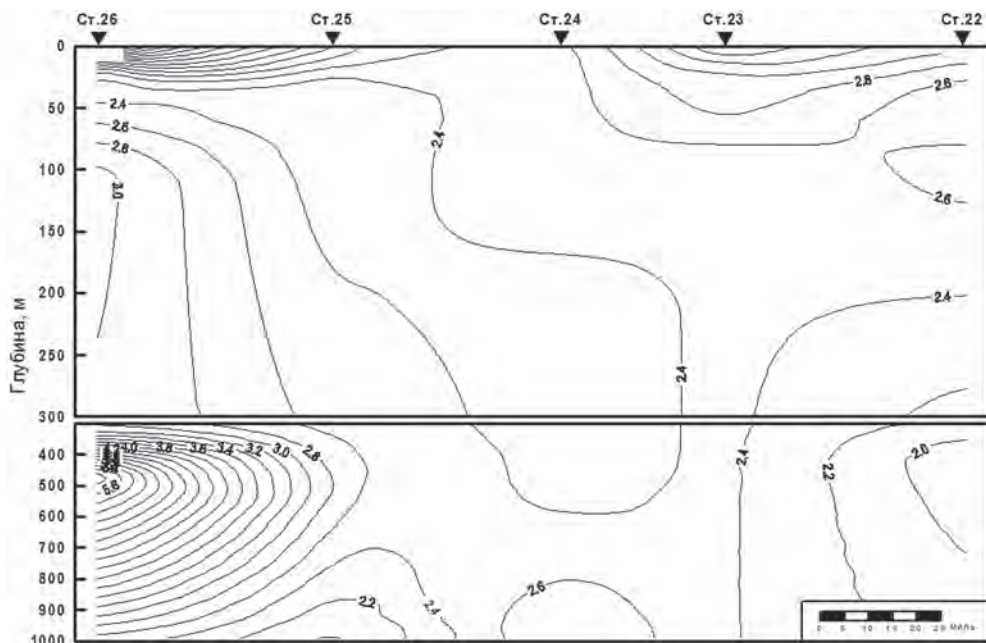




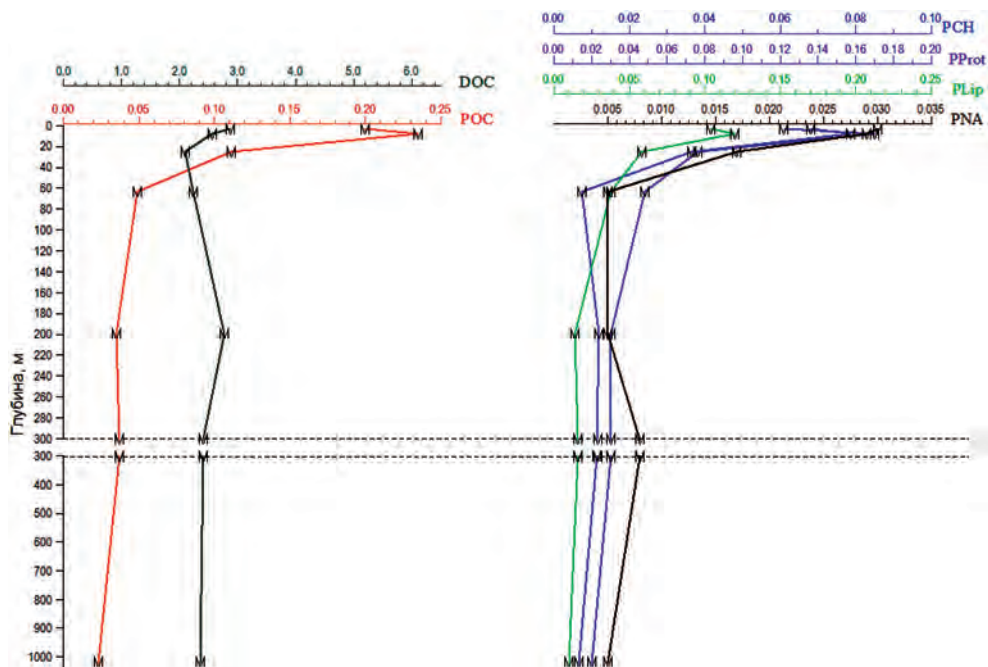
**Рисунок 8.7.** Распределение растворенного органического углерода (мг/л) на разрезе (станции 12–15) в Норвежском море. 10.07–11.07.1997



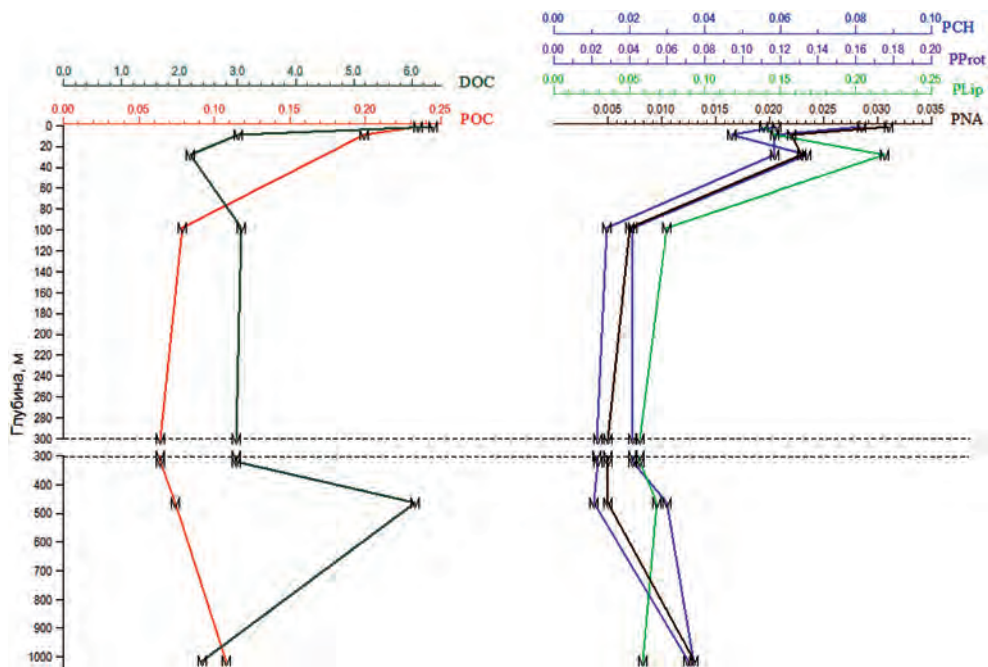
**Рисунок 8.8.** Распределение растворенного органического углерода (мг/л) на разрезе (станции 15–20) в Норвежском море. 11.07–12.07.1997



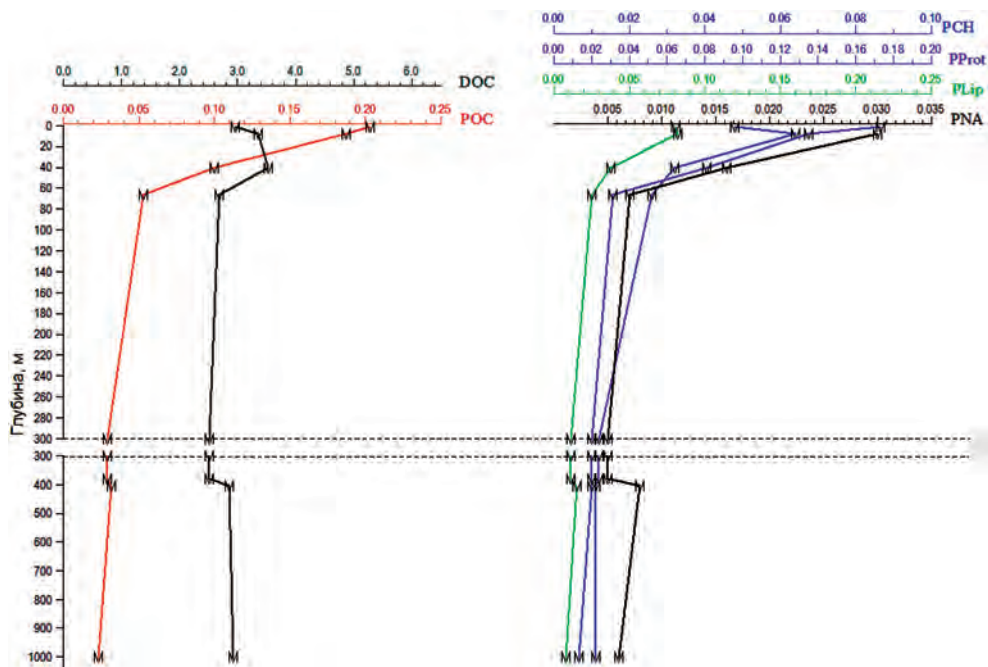
**Рисунок 8.9.** Распределение растворенного органического углерода (мг/л) на разрезе (станции 26–22) в Норвежском море. 12.07–13.07.1997



**Рисунок 8.10.** Вертикальное распределение биохимических характеристик (мг/л) на станции 15 в Норвежском море, 11.07.1997



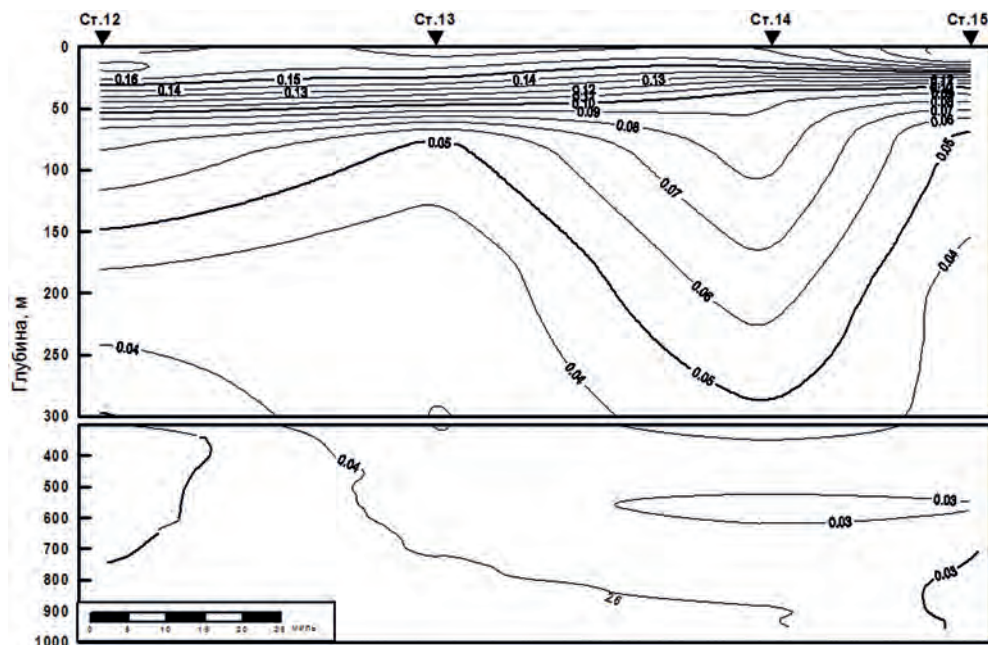
**Рисунок 8.11.** Вертикальное распределение биохимических характеристик (мг/л) на станции 26 в Норвежском море, 13.07.1997



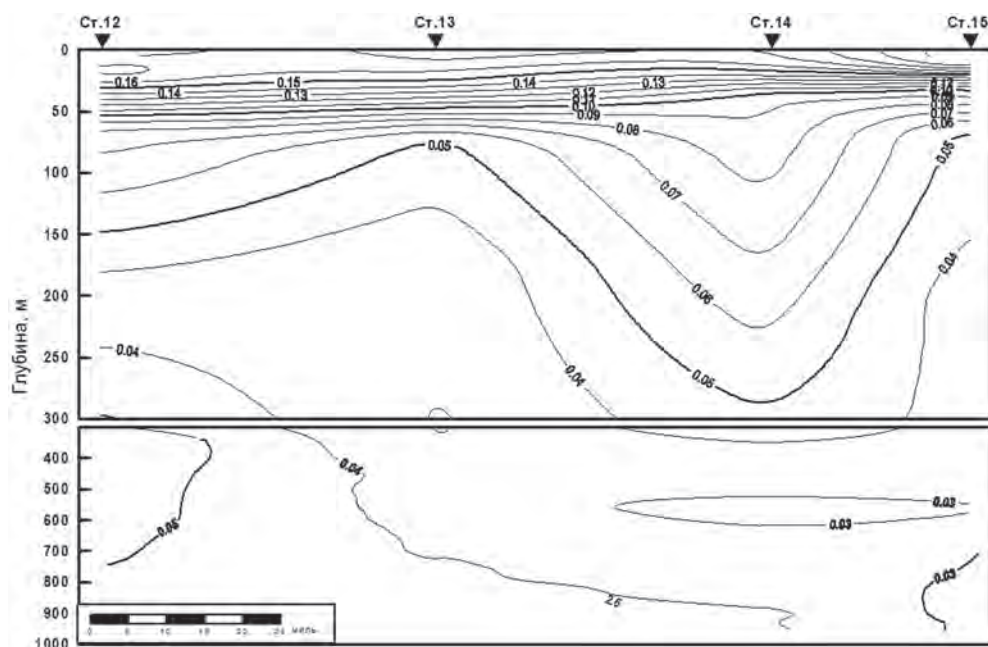
**Рисунок 8.12.** Вертикальное распределение биохимических характеристик (мг/л) на станции 33 в Норвежском море, 15.07.1997

Колебания концентраций взвешенного  $C_{\text{орг}}$  также значительны. По горизонтали содержание  $C_{\text{орг}}$  в фотическом слое изменяется в пределах от 0,080 до 0,530 мг/л, а в глубинных слоях — от 0,020 до 0,150 мг/л. Как правило, по вертикали концентрации взвешенного  $C_{\text{орг}}$  уменьшаются с глубиной в 5–10 раз (см. рисунок 8.10, рисунки 8.12, 8.13). Однако на целом ряде

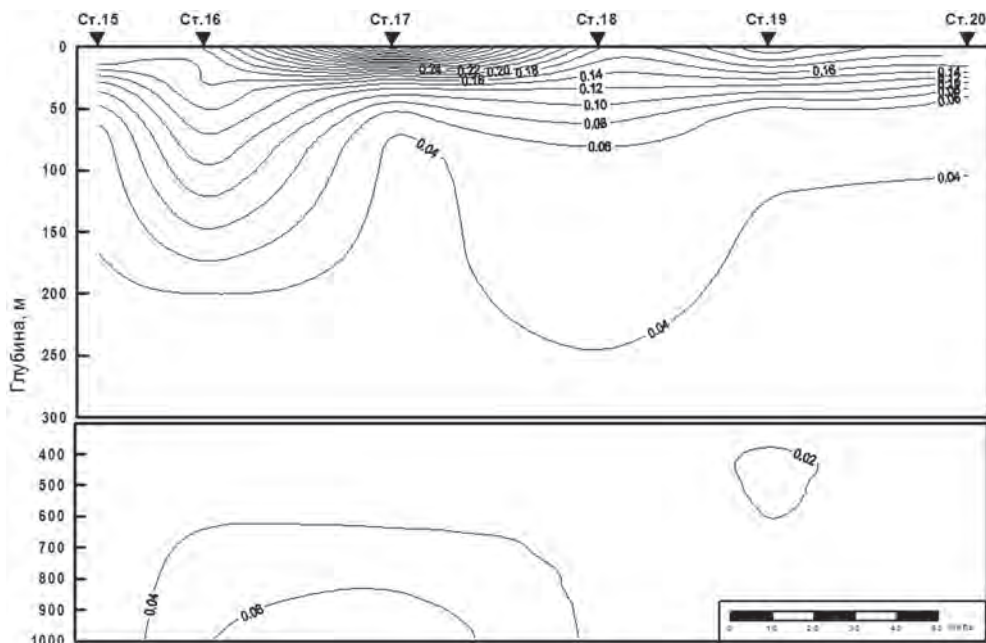
станций отмечено увеличение концентраций взвешенного ОВ на горизонте 1000 м по сравнению с вышележащими водными массами (рисунки 8.14, 8.15). Большая изменчивость концентраций взвешенного  $C_{орг}$  также определяется как динамикой гидрологических процессов, так и интенсивностью биологических.



**Рисунок 8.13.** Распределение взвешенного органического углерода (мг/л) на разрезе (станции 12–15) в Норвежском море. 10.07–11.07.1997



**Рисунок 8.14.** Распределение взвешенного органического углерода (мг/л) на разрезе (станции 15–20) в Норвежском море. 11.07–12.07.1997



**Рисунок 8.15.** Распределение взвешенного органического углерода (мг/л) на разрезе (станции 26–22) в Норвежском море. 12.07–13.07.1997

Картина сложных вихревых образований на западной периферии ЗВНТ удивительно хорошо проявляется на карте распределения взвешенного  $C_{\text{орг}}$  в поверхностном слое (см. рисунок 8.5). Чередующаяся последовательность антициклонических и циклонических мезомасштабных вихрей на границе экономической зоны Норвегии характеризует процессы перемешивания и диссипации энергии на границе ЗВНТ. Наиболее мощное вихревое образование в районе  $67^{\circ}$ – $68^{\circ}$  с.ш. и  $2^{\circ}$ – $4^{\circ}$  в.д. характеризуется максимальными концентрациями взвешенного ОВ и его биохимических компонентов, особенно углеводов и белка (см. рисунок 8.5, рисунки 8.16–8.19). Высокие концентрации последних указывают на скопление здесь как фитопланктона, так и бактериопланктона. В этом районе зафиксированы интенсивные процессы как первичного продуцирования, так и гетеротрофной деструкции ОВ (рисунки 8.20–8.22).

Основной вклад в ОВ взвеси в исследуемой акватории вносят белок и липиды, что отличает взвесь Норвежского моря от взвеси таких субарктических морей как Берингово и Охотское, основным компонентом которой являются белок и углеводы. Содержание белка во взвеси составляет от 12 до 60 %, а липидов — от 10 до 78 %, причём, взвесь с минимальным содержанием белка и липидов встречается крайне редко.

Интересно, что повышенное процентное содержание углеводов в фотическом слое (от 15 до 27 %) наблюдалось только на единичных станциях 4, 20, 21, 23, 27, 28, которое с глубиной снижалось до 6...17 % (приложение 2). В остальных же районах, как правило, процентный вклад углеводов в ОВ либо не менялся, либо увеличивался с глубиной, достигая максимальной величины (46 %) на станции 5. Обогащение углеводами взвеси глубинных вод происходит за счёт более резкого уменьшения концентраций белка и липидов во взвеси этих вод, чем уменьшения концентрации углеводов. Концентрации углеводов по вертикали уменьшаются в 2–5 раз, а белка и липидов — на порядок. Это, может быть, связано с тем, что полисахариды клеток отмершего фитопланктона разлагаются в холодных водах с меньшей скоростью, чем белки и липиды микрорганов.

Повышенное содержание белка и липидов во взвеси делает её энергетически ценным продуктом для высших гидробионтов. Особенно много липидов зарегистрировано на границе экономической зоны Норвегии в зоне мезомасштабных вихрей (см. рисунок 8.18).

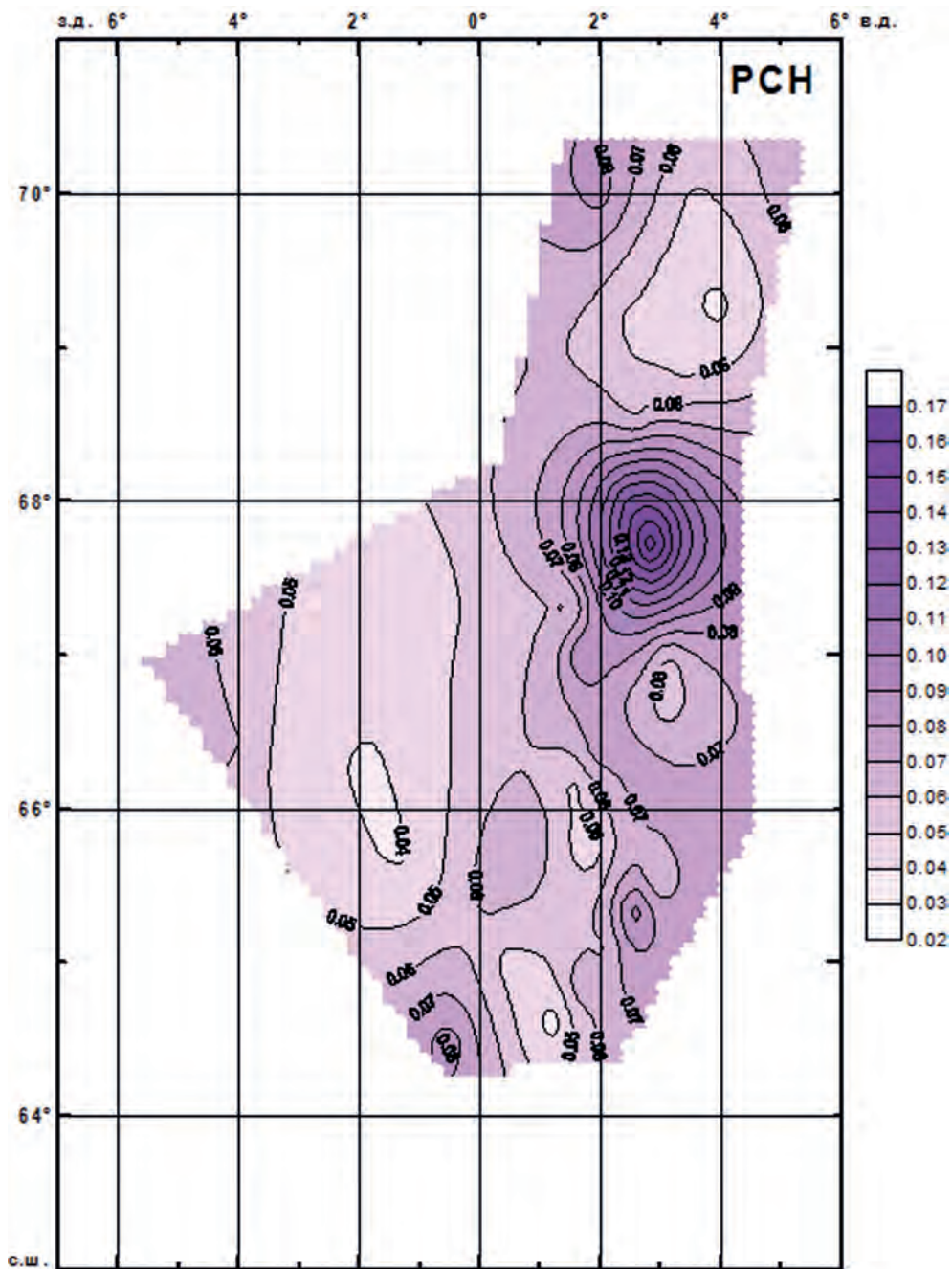
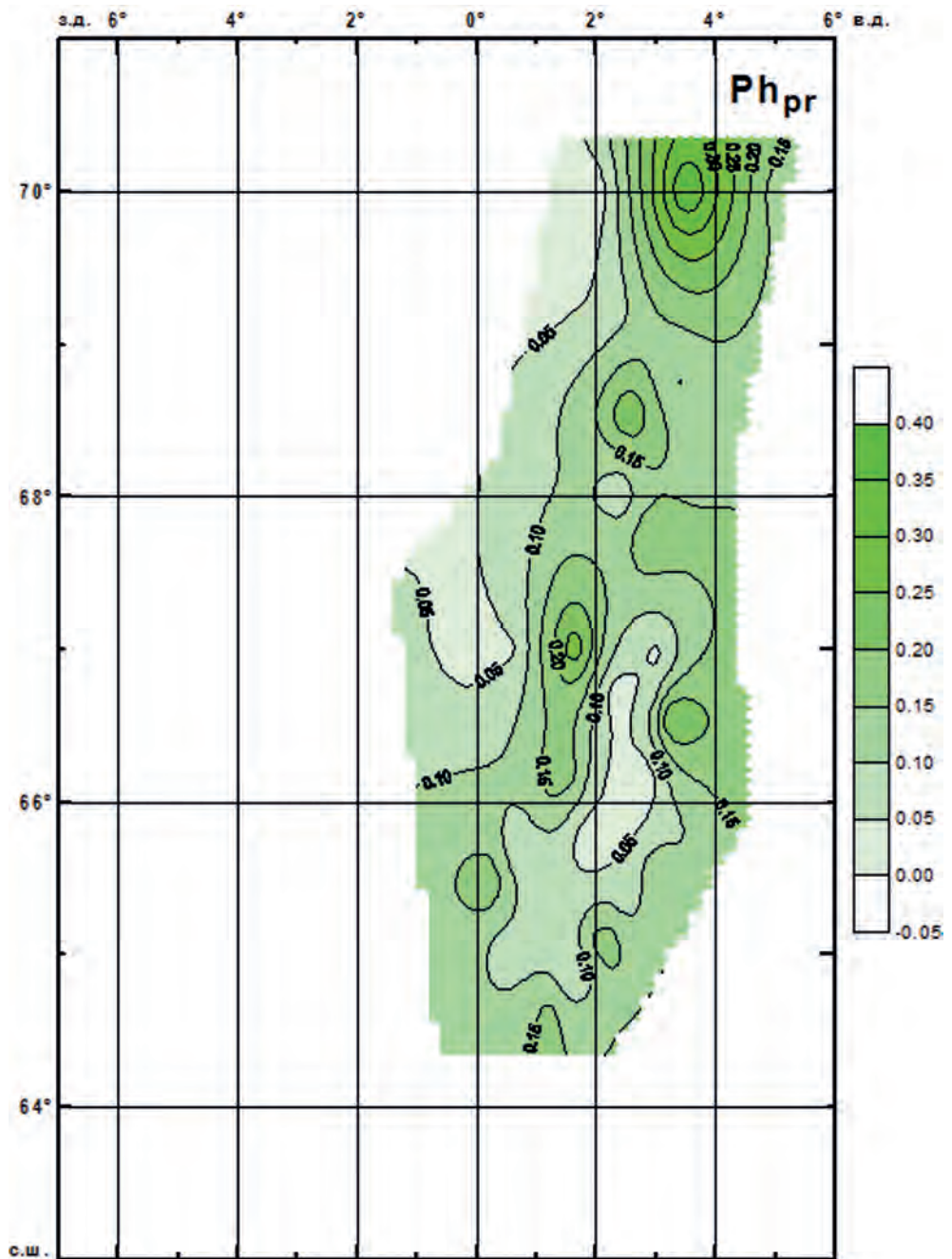
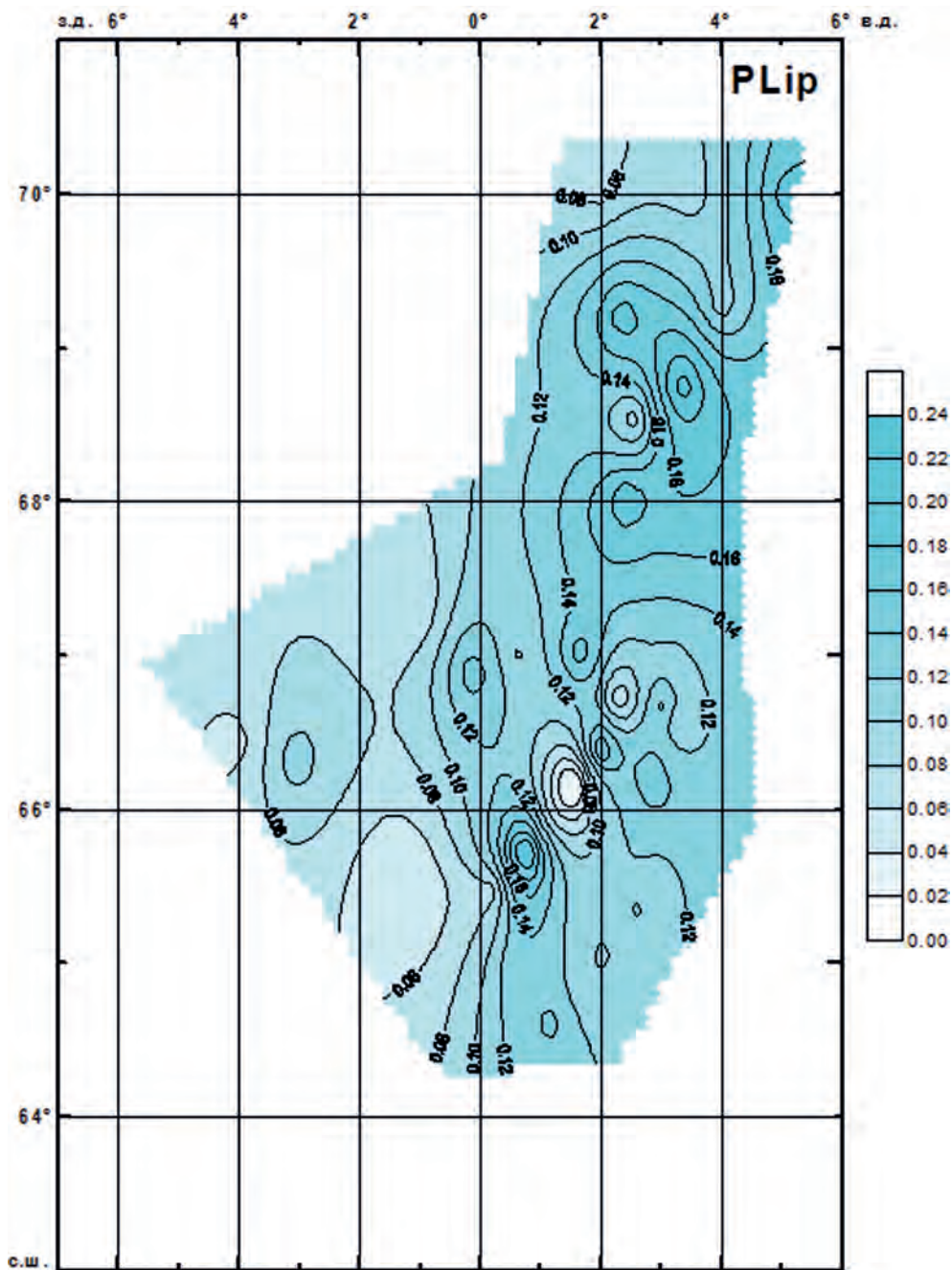


Рисунок 8.16. Распределение взвешенных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997

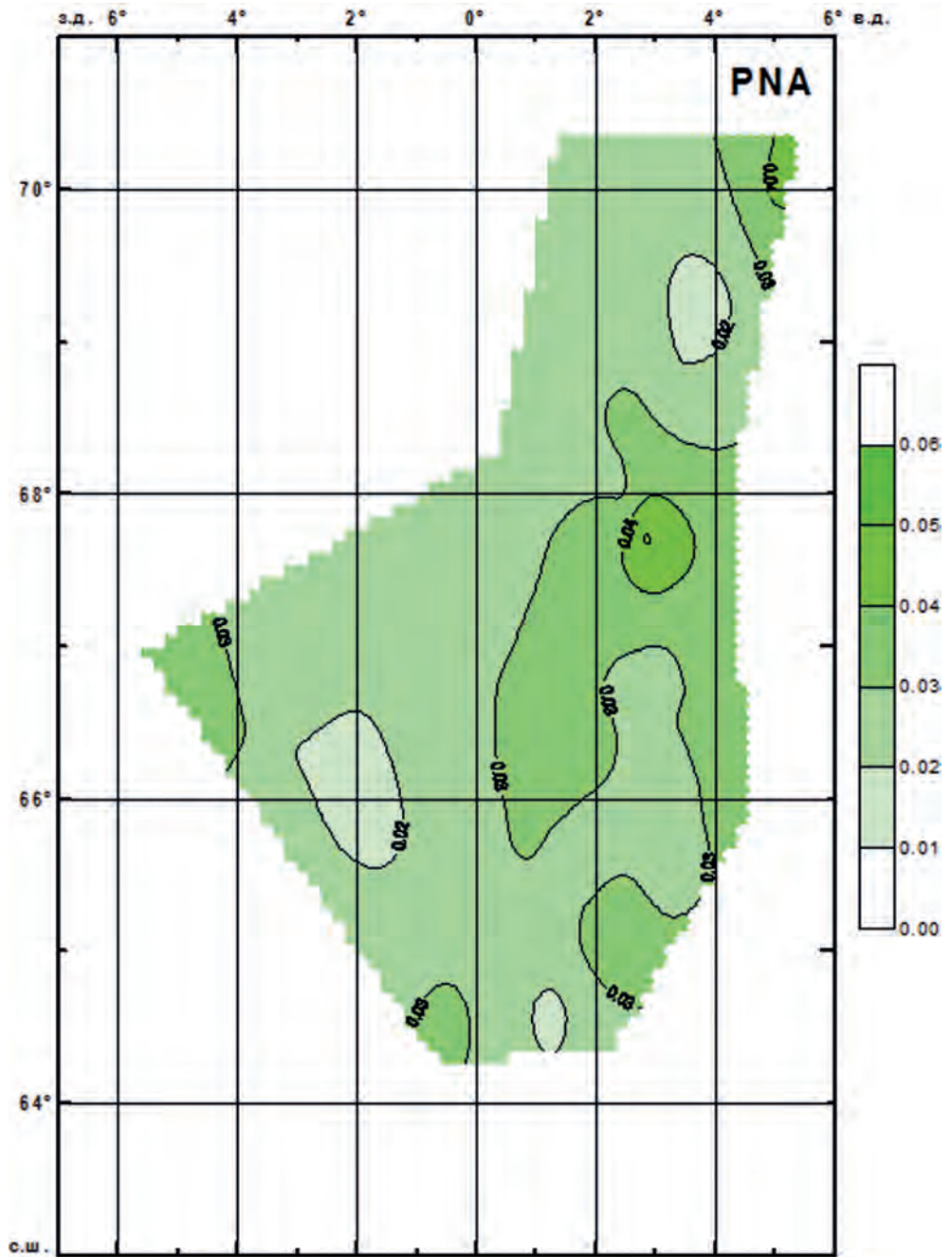


**Рисунок 8.17.** Распределение удельной активности фосфатазы ( $\mu\text{г-ат P}/(\text{ч-мг белка})$ ) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997

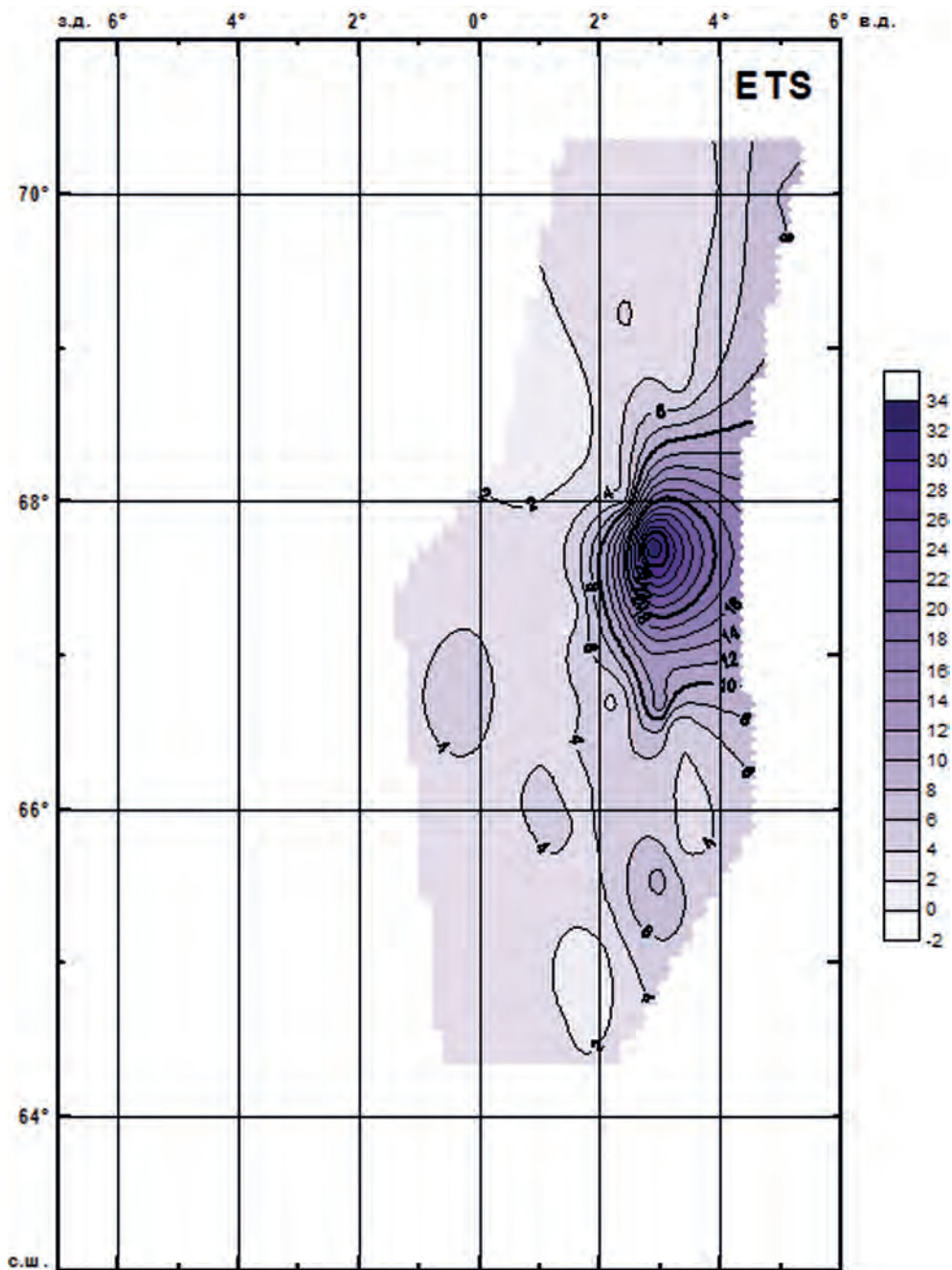


**Рисунок 8.18.** Распределение взвешенных липидов (мг/л) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997

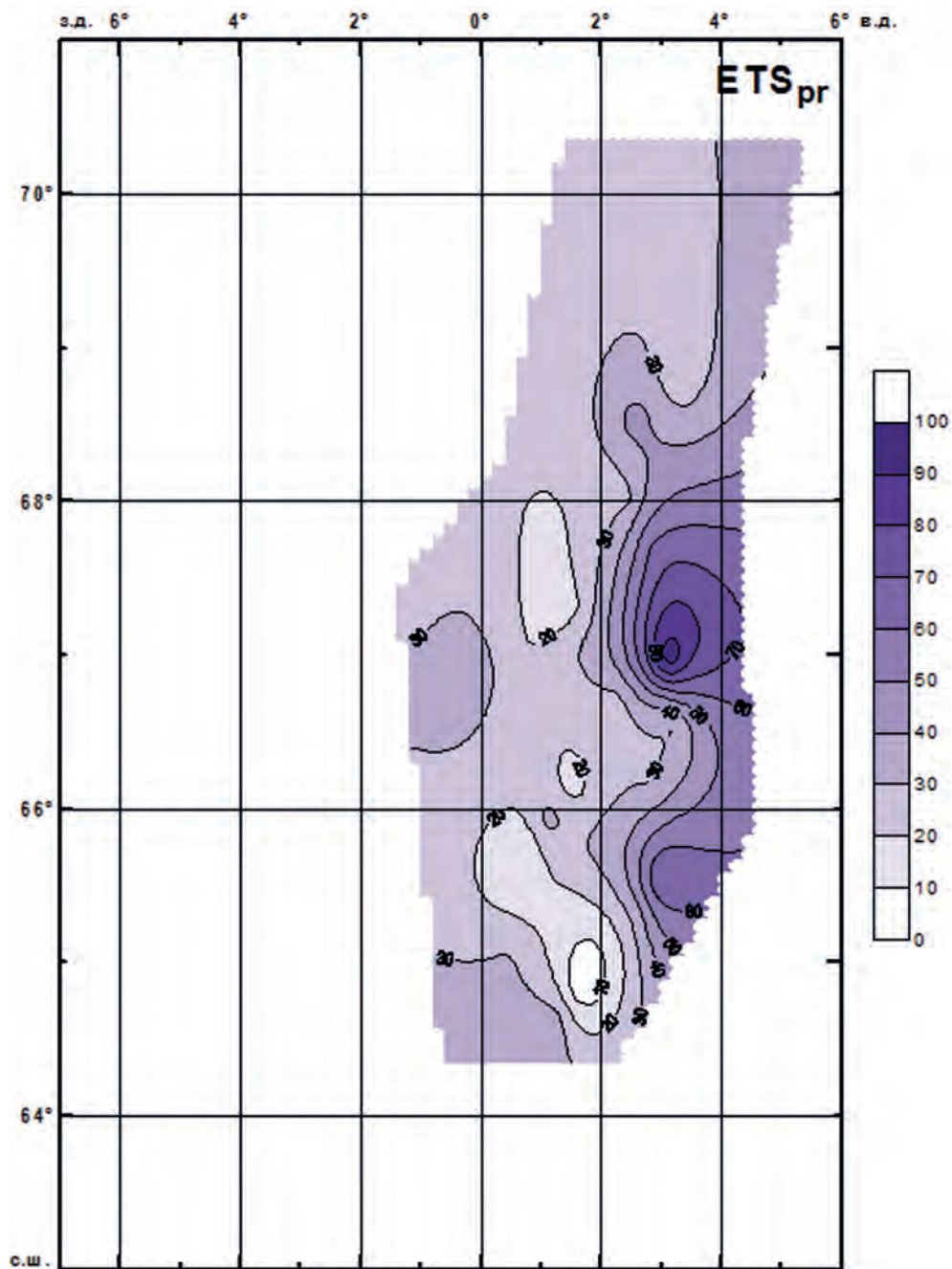




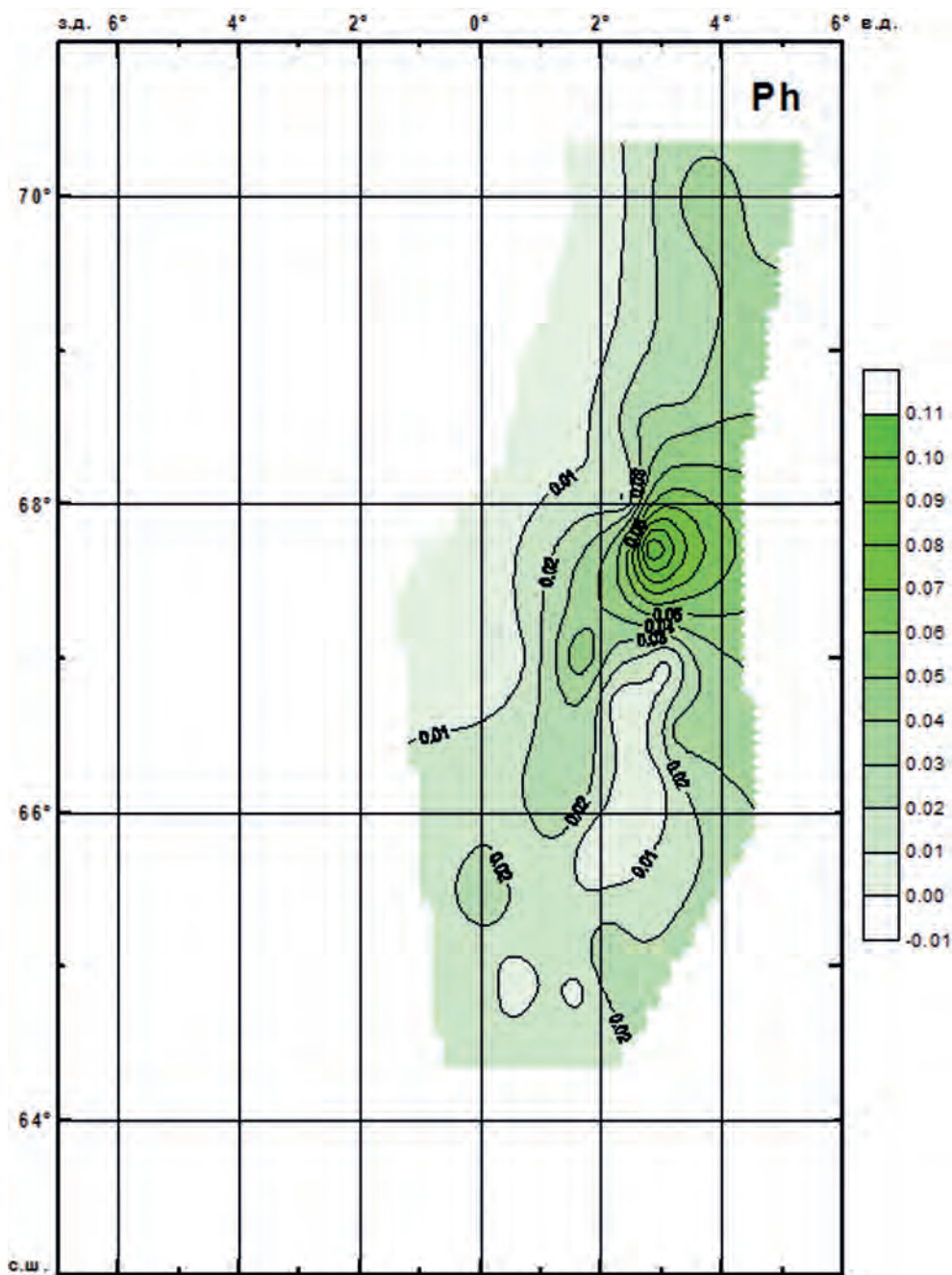
**Рисунок 8.19.** Распределение взвешенных нуклеиновых кислот (мг/л) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997



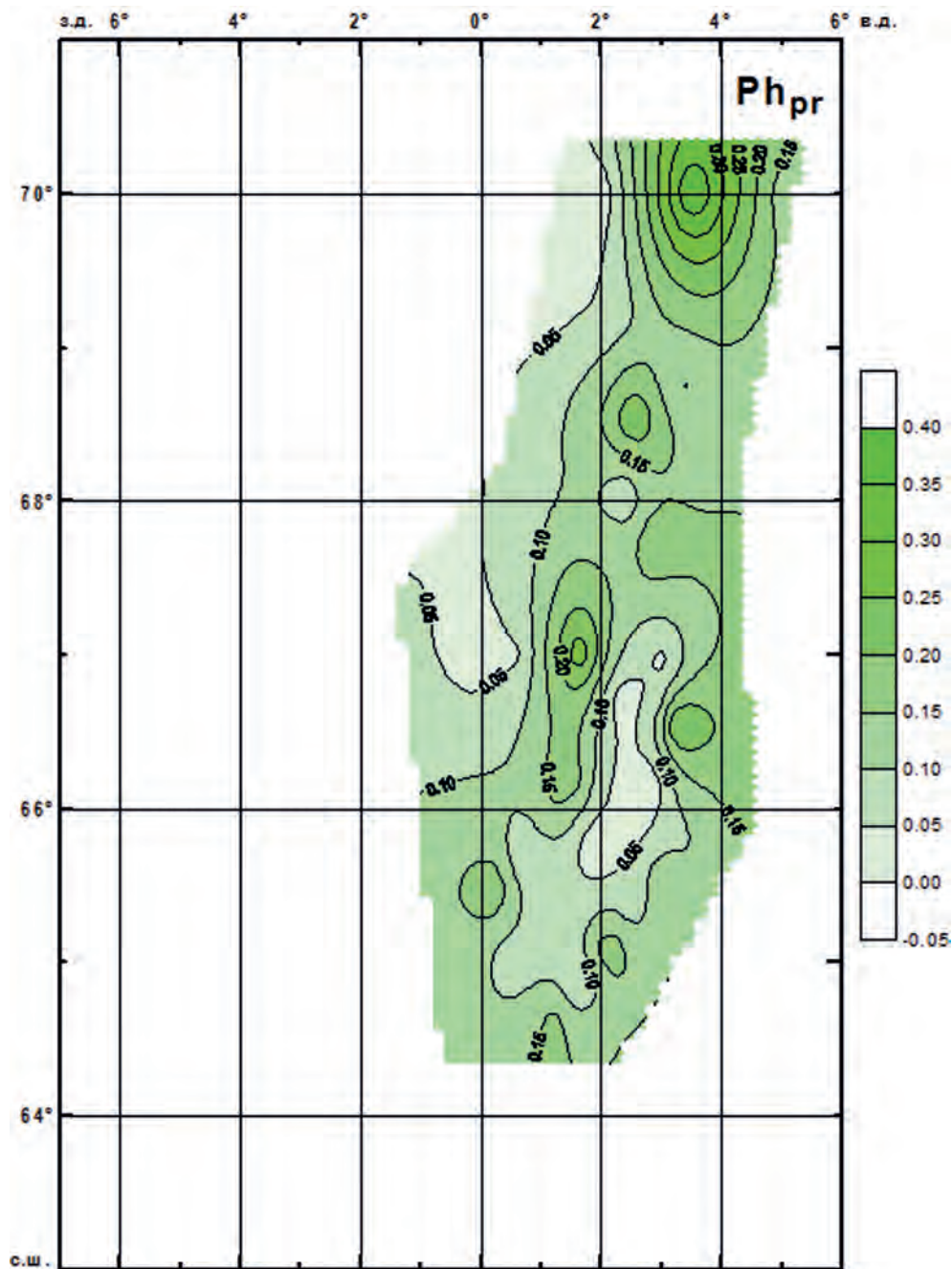
**Рисунок 8.20.** Распределение общей активности ферментов ЭТС (мкл  $\text{O}_2/(\text{л}\cdot\text{ч})$ ) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 8.21.** Распределение удельной активности ферментов ЭТС (мкл O<sub>2</sub>/(4-мг белка)) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 8.22.** Распределение общей активности фосфатазы (мкг-ат P/(л·ч)) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 8.23.** Распределение удельной активности фосфатазы ( $\mu\text{г-ат P}/4\text{мг белка}$ ) в поверхностном слое Норвежского моря. 06.07–17.07.1997

Концентрации взвешенных углеводов в фотическом слое тесно связаны с распределением здесь хлорофилла (см. рисунок 8.16) и служат показателем биомассы фитопланктона. На станциях с подповерхностными максимумами хлорофилла максимальные концентрации взвешенных углеводов совпадали с этими максимумами (станции 5, 6, 8, 10, 12, 24, 33). По концентрациям взвешенных углеводов в фотическом слое была рассчитана биомасса фитопланктона в районе работ. По этим оценкам её величины колеблются в пределах  $0,1 \dots 0,6 \text{ г/м}^3$ , что является средней величиной биомассы фитопланктона для Норвежского моря.

Биомасса микрогетеротрофов рассчитана исходя из концентраций взвешенного белка. В фотическом слое она колеблется от  $0,2$  до  $1,1 \text{ г/м}^3$ , превышая в два раза биомассу фитопланктона. Такое соотношение биомасс в фотическом слое указывает на преобладание гетеротрофных процессов в данной экосистеме. В глубинных водах биомасса микропланктона значительно ниже, чем в фотическом слое, и пределы колебаний её величин не так значительны ( $0,05 \dots 0,20 \text{ г/м}^3$ ). Высокая биомасса микропланктона характерна для районов антициклонических вихрей (станции 30–39). Следует отметить, что на станции 17 в поверхностном горизонте зафиксирована самая высокая биомасса микрогетеротрофов —  $2,89 \text{ г/м}^3$ , здесь же отмечена и самая высокая биомасса крупного сетного фитопланктона.

Анализ вертикальной изменчивости концентраций взвешенных белков, углеводов, липидов и НК показал, что эта изменчивость тесно связана с изменением гидрологических условий. Так на глубинных горизонтах при смешении вод разного генезиса происходит увеличение концентраций всех биохимических компонентов и растворенного  $C_{\text{орг}}$  за счёт наращивания биомассы микроорганизмов. Например, на станциях 4, 8, 9, 11, 12, 28, 38, 40 это зарегистрировано в слое  $250 \dots 400 \text{ м}$ , а на станциях 5, 13, 14, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 30, 31, 34 на горизонте  $1000 \text{ м}$ .

Таким образом, изменчивость гидрологических условий регистрируется по биохимическим показателям не только на поверхностных горизонтах, но и в глубинных слоях. Ранее, на примере вод Берингова и Охотского морей нами было показано, что при проникновении тихоокеанских вод происходит интенсификация биологических процессов на верхней и нижней границе этой водной массы, приводящая к увеличению биомассы микропланктона (Агатова и др., 1996а, б).

Здесь мы также наблюдали интенсификацию биологических процессов потребления кислорода (по активности ферментов ЭТС) и расщепления фосфоорганических соединений (по активности фосфатазы) в районе антициклонического вихря между  $67^\circ\text{--}68^\circ \text{ с.ш.}$  и  $2^\circ\text{--}4^\circ \text{ в.д.}$  (см. рисунки 8.20–8.22, рисунок 8.23). Концентрирование большой биомассы здесь фито-, зоо- и микропланктона привело к увеличению общей активности и гидролитических и окислительно-восстановительных процессов (см. рисунки 8.20, 8.22). Однако, значительное увеличение удельной активности ферментов ЭТС указывает на наибольшую интенсификацию гетеротрофных процессов (см. рисунок 8.21). Следует отметить, что в районах с интенсивным первичным продуцированием (интенсивные автотрофные процессы) и минимальными концентрациями неорганического фосфора (около  $0,2 \text{ мкМ}$ ) максимальна удельная активность щелочной фосфатазы (см. рисунок 8.23), способствующей быстрой минерализации органического фосфора для включения его в продукционный цикл. Исходя из активностей щелочной фосфатазы и концентрации органического фосфора можно рассчитать не только время его оборота в продукционно-деструкционном цикле, но и оценить вклад рециклинга фосфатов в создание первичного ОВ. При больших скоростях синтеза первичного ОВ и минимальных концентрациях неорганических фосфатов, времена рециклинга последних составляют  $10 \dots 15 \text{ ч}$ , в то время как в низкопродуктивных районах они составляют не менее 3 сут.

Измерения в популяциях микропланктона скоростей окислительно-восстановительных реакций, катализируемых ферментами ЭТС, и реакций гидролитического отщепления фосфора от фосфоорганических соединений, катализируемых щелочными фосфатазами, при разных температурах показали, что скорости этих реакций в большинстве случаев не подчиняются закону Вант-Гоффа ( $Q_{10} = 2$ ) и энергии активации для реакций ЭТС изменяются в основном в пределах  $2 \dots 9 \text{ ккал/моль}$ , а для фосфатазы —  $3 \dots 7 \text{ ккал/моль}$ .

Такие низкие энергии активации указывают на интенсивный метаболизм организмов в условиях низких температур. Следует отметить, что не только микропланктон, но и зоопланктон

обладает таким механизмом приспособления к жизни в холодных водах. На примере калянуса (*Calanus finmarchius*) было показано, что энергия активации окислительно-восстановительных реакций ЭТС у него снижена до 5 ккал/моль, а фосфатазной активности до 3 ккал/моль. Однако, так как для исследуемого района характерно смешение тёплых и холодных вод, то преобладание тепло- или холодолюбивой популяции в планктоне отражалось на величинах энергий активации соответствующих реакций. Например, в ряде случаев эти значения были выше указанных предельных и даже подчинялись закону Вант-Гоффа (станции 12, 26, 31).

## 8.4. ВЫВОДЫ

По результатам проведённых исследований были сделаны следующие выводы:

Впервые в районе работ проведён мониторинг распределения растворенного и взвешенного органического углерода, построены карты распределения этих характеристик и оценён запас растворенного и взвешенного ОВ. Содержание растворенного  $C_{\text{орг}}$  здесь колеблется в пределах 1,2...6,4 мг/л, а взвешенного — в пределах 0,08...0,53 мг/л. В поверхностных водах взвешенное ОВ от растворенного составляет 5...15 %, с глубиной доля взвешенного ОВ уменьшается до 1...5 %.

Высокие концентрации и растворенного и взвешенного ОВ характерны для фотического слоя, антициклональных вихрей и зон смешения вод разного генезиса. По карте распределения взвешенного  $C_{\text{орг}}$  можно выделить чередующиеся последовательности антициклонических и циклонических мезомасштабных вихрей.

Впервые определён биохимический состав взвешенного ОВ. Показано, что во взвеси сумма основных биохимических компонентов составляет 85...90 % от валового содержания органического вещества, что, в свою очередь, свидетельствует о том, что большая часть ОВ представлена живыми клетками и неразложившимися их остатками. Для биохимического состава взвешенного ОВ характерно преобладание белка и таких энергоёмких соединений как липиды, что обуславливает пищевую ценность взвешенного ОВ для высших гидробионтов.

Установлено, что по содержанию углеводов можно оперативно оценивать биомассу фитопланктона, а по взвешенному белку — биомассу бактерий. Биомасса фитопланктона размерностью от 0,3 до 60 мкм здесь колеблется в пределах 0,1...0,6 г/м<sup>3</sup>, а биомасса бактериопланктона (до 0,2 мкм) — в пределах 0,2...1,1 г/м<sup>3</sup>. В динамически активных зонах и зонах смешения вод происходит увеличение биомассы микроорганизмов не только за счёт механического концентрирования микропланктона, но и за счёт интенсивного его развития здесь. Эти зоны можно выделить не только на картах распределения взвешенного ОВ, но и на картах распределения его индивидуальных биохимических компонентов, что позволяет использовать последние для выявления и мониторинга промысловых районов.

Исследование ферментативной активности щелочной фосфатазы и электрон-транспортной системы ЭТС позволило оценить скорости деструкционных процессов. Получены количественные данные по регенерации фосфатов и показано, что в летний период работа ферментов обеспечивает рециклинг фосфора с достаточной скоростью и лимитирование первичной продукции нехваткой фосфатов не происходит. Здесь пороговая концентрация фосфатов, когда активно включается работа ферментов щелочной фосфатазы составляет менее 0,3 мкМ.

Карты распределения удельных активностей окислительно-восстановительных ферментов ЭТС и щелочной фосфатазы позволили выделить районы с повышенной гетеротрофной и автотрофной активностью, соответственно.

Расчёт энергий активации реакций, катализируемых ферментами ЭТС и щелочной фосфатазой в популяции микро- и зоопланктона показал сложную картину распределения здесь психрофилов и мезофилов, связанную с влиянием холодного и тёплого течений. Во время исследования в этом районе преобладали холодоустойчивые популяции.

# Глава 9. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В НОРВЕЖСКОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 1997 г.

## 9.1. ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными задачами исследований состояния планктонного сообщества в рамках научно-производственного эксперимента являлось выявление особенностей развития планктона в Норвежском море в период промысла скумбрии, а также определение места плотных скоплений кормового планктона и их связь с гидрологическими и гидрохимическими показателями среды.

## 9.2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА

Планктонные исследования выполнялись в открытой части Норвежского моря, в местах промысла скумбрии.

Сбор планктона производился сетью Джеди (диаметр входного отверстия 37 см, газ № 38) на всех гидрологических станциях в слоях 0...25, 0...50, 0...100, 0...200 м из-за отсутствия возможности собрать материал по горизонтам. Такой сбор планктона позволял в полном объёме характеризовать состояние планктона в поверхностном слое 0...50 м и в некоторой степени распределение скоплений по вертикали. Анализировался в основном планктон слоя 0...50 м, так как наиболее плотные скопления его в летний период находятся в этом слое.

Всего выполнено 42 планктонные станции, собрано 126 проб планктона.

Зоопланктон поверхностных слоёв 0...25 и 0...50 м просчитывался в камере Богорова под бинокляром МБС-9, как по навеске (часто встречающиеся виды) с использованием шпатель-пипетки на 1 мл, так и во всей пробе с разведением в 100 мл. Определялись видовой, возрастной и количественный состав зоопланктона.

Определение сетного фитопланктона велось визуально: видовой состав до рода и вида; количественное соотношение водорослей — по 5-бальной шкале (1 — единично, 2 — десятки, 3 — сотни, 4 — тысячи, 5 — масса).

Биомасса сестона (фито- и зоопланктона) определялась в мл методом вытесненных объёмов. Данные обработки материала (численность зоопланктона, биомасса сестона) пересчитывались на метр кубический с помощью таблицы переводных коэффициентов. Сбор и обработка планктона производились по стандартным методикам, принятым в ПИНРО (Дробышева и др., 1986) [75].

Все пробы зафиксированы 4%-м формалином для дальнейшего более точного определения биомассы сестона путём взвешивания на торзионных весах и камеральной обработки проб с нижних слоёв воды.

В главе представлены карты распределения биомассы планктона в Норвежском море в слоях 0...25, 0...50 и 0...200 м, численности всего зоопланктона, наиболее массового зоопланктона в Норвежском море *Calanus finmarchicus* разных возрастных групп и численности гидромедузы *Aglantha digithale* в слое 0...50 м.

## 9.3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многолетние планктонные исследования в Норвежском море в летний период (в основном в июне) показали наличие ежегодных высоких биомасс планктона



(500...1000 мг/м<sup>3</sup> и более) в центральной части моря. Биомассу планктона здесь составляли рачковый зоопланктон и, прежде всего, *Calanus finmarchicus* разных возрастных категорий, молодь и единично взрослые особи *Euphausiacea*, *Chaetognatha*, *Hyperiididae*, а также крылоногие моллюски *Limacina retroversa*, *L. helicina* и другие зоопланктеры. В «тёплый» по гидрологическим условиям (1957) (Грузов, 1963) на широкой акватории моря и в «умеренные» 1994–1996 гг. — восточнее нулевого меридиана, — наблюдалось массовое развитие гидромедузы *Aglantha digitale*, в значительном количестве потребляющих рачковый планктон, подрывая тем самым его запасы.

Фитопланктон в больших количествах в центральном районе в 1980–1996 гг. наблюдался лишь в относительно «тёплом» 1991 г. и в виде небольших концентрированных «пятен» в июле «умеренного» 1994 г. ([http://www.rfbr.ru/rffi/ru/project\\_search/o\\_144271](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_144271)).

Чаще же всего в исследуемый период фитопланктон был представлен единичными клетками перидиниевых водорослей рода *Ceratium*, диатомовыми рода *Rhizosolenia* и рода *Thalassiothrix*.

В результате высокой биомассы планктона, высокой численности рачкового планктона в центральных районах моря практически ежегодно складывались хорошие кормовые условия для откорма пелагических рыб — скумбрии, сельди и путассу.

Изменялось лишь распределение наиболее продуктивных участков моря, видовой и возрастной состав зоопланктона, величины численности и биомассы планктона в зависимости от состояния гидрологических условий.

Изучение закономерностей определяющих районы откорма промысловых рыб в Норвежском море имеет немаловажное значение.

### 9.3.1. ФИТОПЛАНКТОН

В июле 1997 г., в период фоновой съёмки, фитопланктон в значительном количестве отмечался по всему району исследования, но его массовое развитие наблюдалось в смешанных и атлантических водах западнее нулевого меридиана. Места скопления фитопланктона распределялись в северо-восточном направлении. Наибольшие его концентрации до 4...5 баллов наблюдались на юго-западе, западе и северо-востоке района (рисунок 9.1).

На северо-восточных станциях 23 и 24 отмечено значительное распространение диатомовых водорослей глубже 100 м.

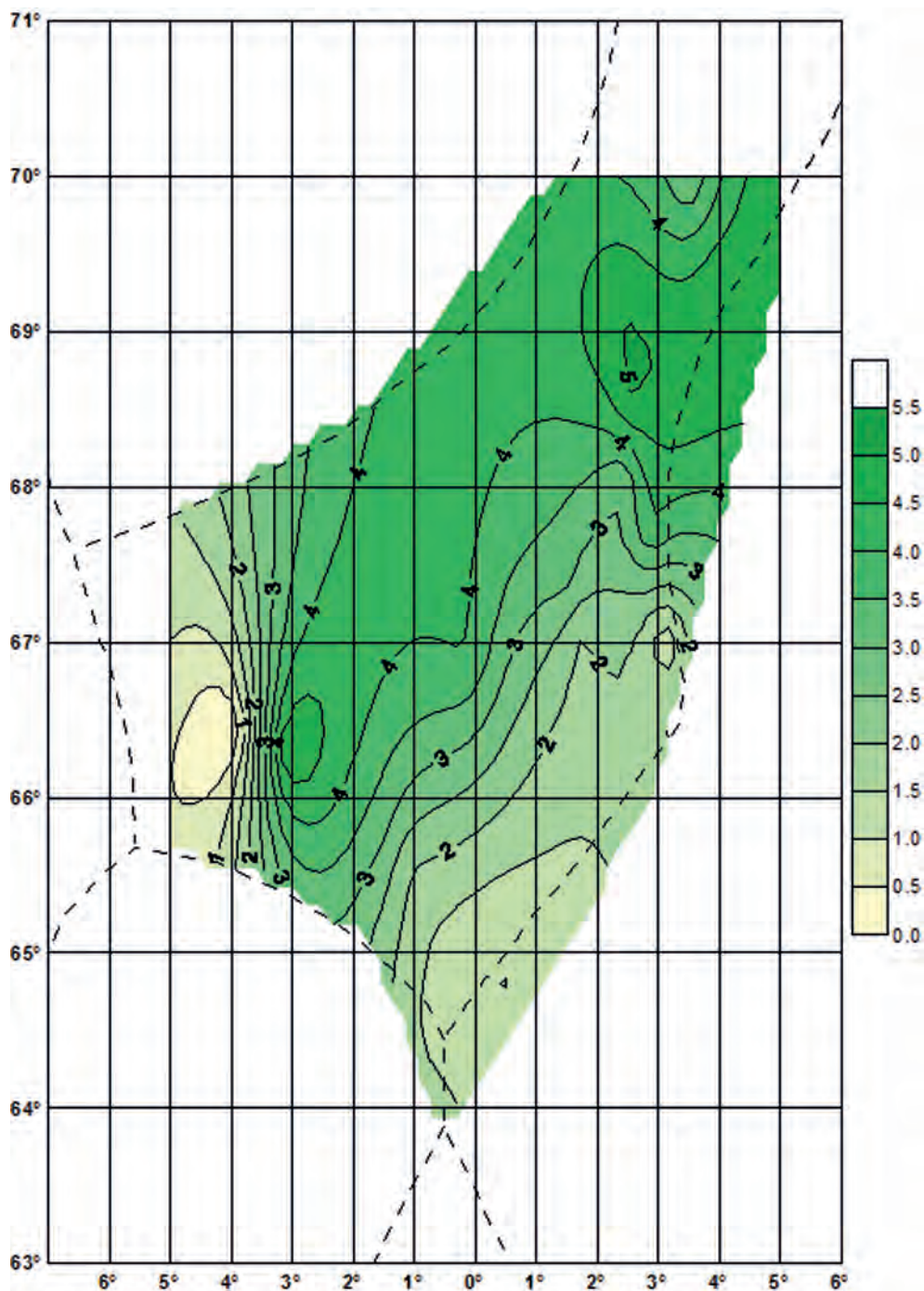
В местах скопления фитопланктон представляли водоросли летнего комплекса. Это диатомовые *Rhizosolenia hebetata f. semispina*, *Rh. stiliformis*, *Coscinodiscus sp.* и перидиниевые *Ceratium longipes*, *C. macroceros*, *C. fusus*, *C. furca*, *Peridinium depressum*. Состояние фитопланктона характерно для смешанных вод. На северо-востоке района, наряду с предыдущими видами, в небольшом количестве встречались диатомовые рода *Chetoceros sp.* — представители весенне-летнего, а на юго-западе — диатомовые *Thalassiothrix longissima* — представитель летне-осеннего комплексов, что соответствует весенне-летнему периоду.

Преобладающими в местах скопления были диатомовые рода *Rhizosolenia* — показатели тёплых вод. В меньшем количестве фитопланктон отмечался на юго-востоке района исследования. Здесь развивались в основном перидиниевые водоросли *Ceratium longipes*, *C. macroceros*, *C. furca*, *C. fusus*, что соответствует летнему состоянию фитопланктона.

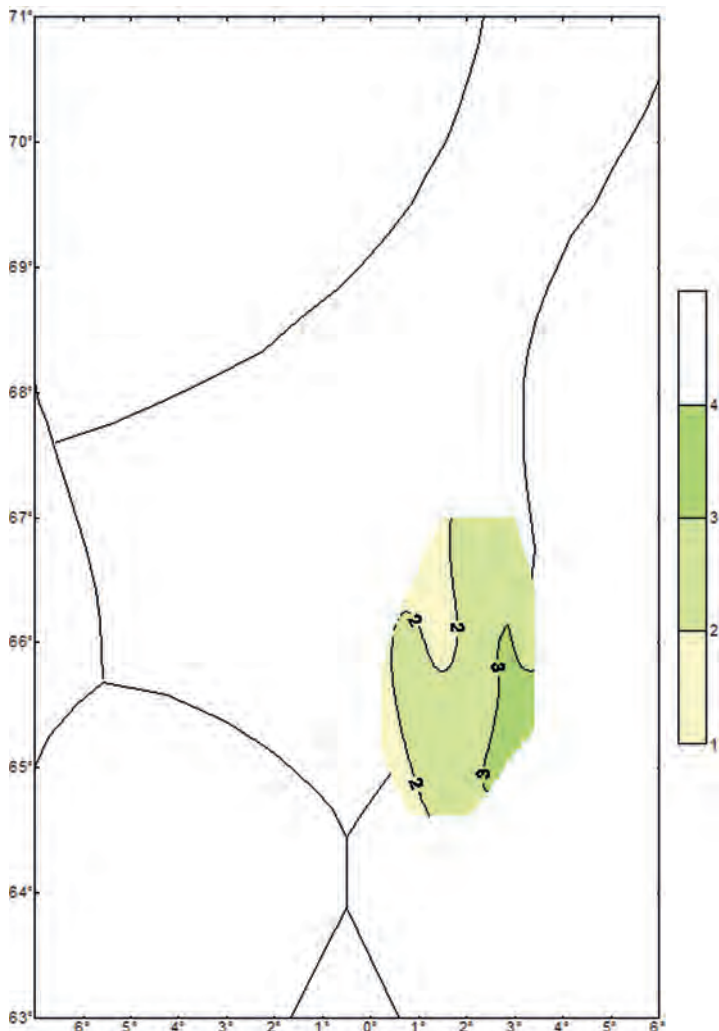
Массовое развитие низших водорослей в 1997 г., как и в 1991 г., вероятно связано с усилением атлантических вод и более резко выраженной фронтальной зоной.

В районе микрополигона 17.07–18.07.1997 сохранялась ситуация периода фоновой съёмки, то есть наблюдается слабое развитие летнего фитопланктона. Судя по величине биомассы сестона, основные скопления водорослей на больших станциях наблюдались в слое 0...25 м, а на станциях 30, 31 и 40 — в слое 0...50 м (рисунок 9.2). Более высокие значения

водорослей наблюдались на станциях 31, 34, 35 и 37. Фитопланктон на всём микрополигоне составляли перидиниевые водоросли *Ceratium longipes*, *C. makroceros*, *C. fusus*, *C. furca*, как и в период фоновой съёмки.



**Рисунок 9.1.** Схема массового развития фитопланктона (в баллах) в слое 0...50 м в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



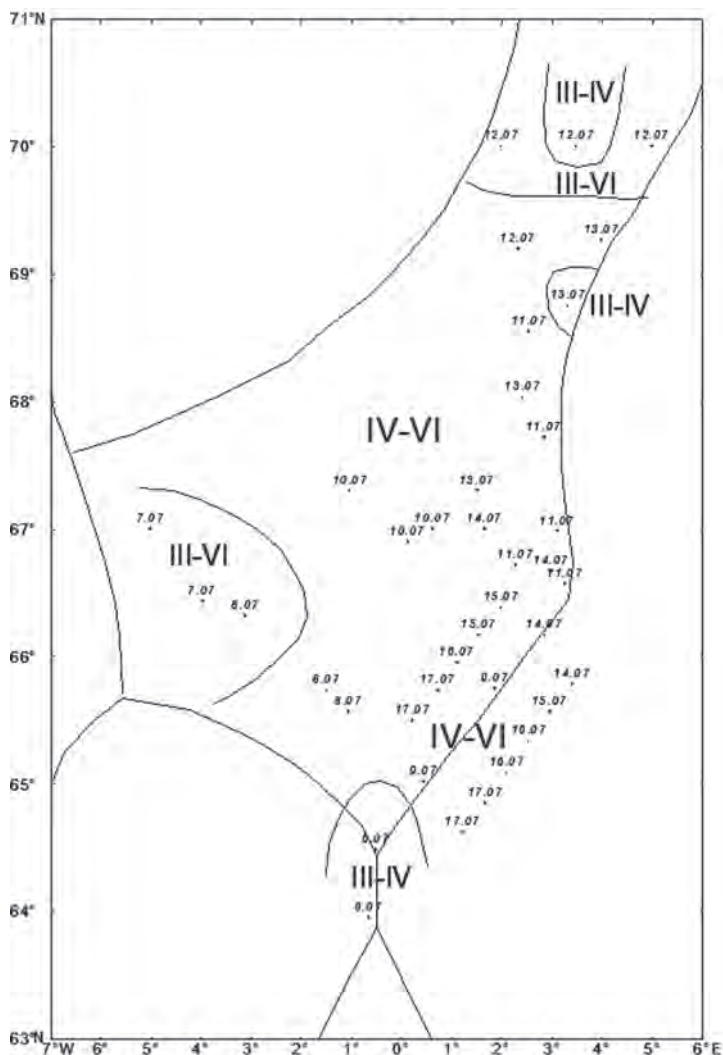
**Рисунок 9.2.** Схема массового развития фитопланктона (в баллах) в слое 0...50 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997

### 9.3.2. ЗООПЛАНКТОН

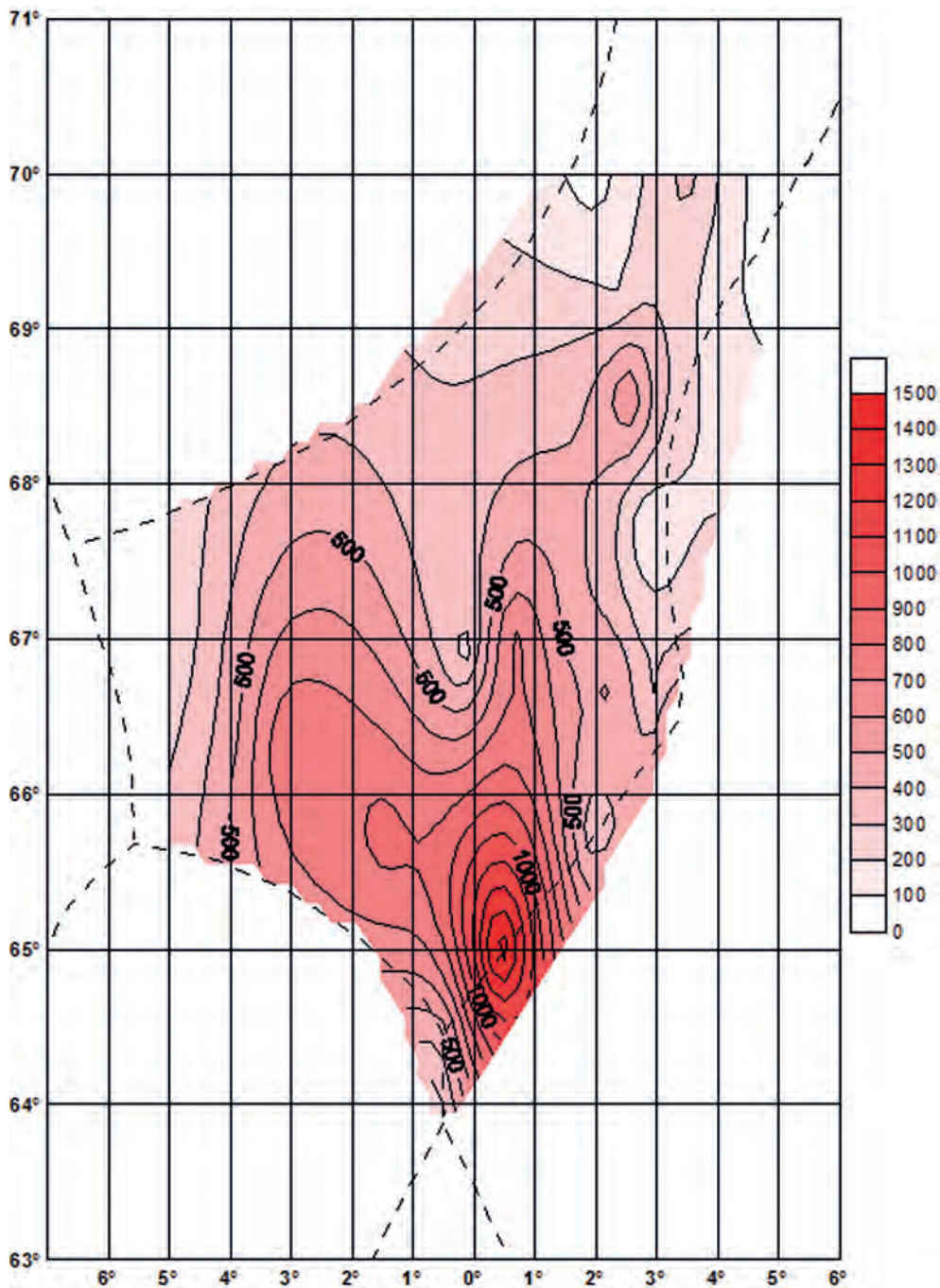
В июле зоопланктон наиболее продуктивных слоёв 0...25 и 0...50 м представляли копеподы *Oithona similis*, *Calanus finmarchicus*, *Pseudocalanus elongatus* (от 55 до 71 % от общей численности зоопланктона на одних станциях, до 80...100 % — на других), а в восточных и северо-восточных частях ОЧМН, наряду с выше перечисленными копеподами и гидромедузы *Aglantha digithale*, от 8 до 31 % всей численности зоопланктона. Численность копепод колебалась в пределах от 369...395 экз./м<sup>3</sup> до 3246 экз./м<sup>3</sup> в слое 0...50 м до 7500 экз./м<sup>3</sup> в слое 0...25 м. Величину численности определяли в основном мелкие копеподы *Oithona similis* и *Pseudocalanus elongatus*, а биомассу — *Calanus finmarchicus* старших возрастов, фитопланктон и гидромедузы. Мелкие копеподы *Oithona similis* и *Pseudocalanus elongatus* встречаются в планктоне Норвежского моря постоянно, но массовое их развитие наблюдается в конце лета и в прибрежных водах при некотором распреснении. Вероятно, значительный прогрев поверхностных вод в исследуемом районе и незначительное распреснение вод в юго-западной и юго-восточной частях региона способствовали их интенсивному развитию. В распределении мелких копепод и *Calanus finmarchicus* отмечена некоторая закономерность. В местах скоплений *Calanus finmarchicus* численность мелких копепод была невысокой и наоборот, в местах небольшой численности калянуса.

Возрастной состав *Calanus finmarchicus* в июле 1997 г. на основной акватории района был представлен IV-V, VI (самки, самцы) копепоидными стадиями с преобладанием V-VI (рисунок 9.3). Состояние калянуса соответствовало летнему периоду. Наибольшие скопления калянуса IV-V копепоидных стадий новой генерации отмечались в юго-восточных районах ОЧНМ, а калянуса VI — в юго-восточных, юго-западных и восточных (рисунки 9.4, 9.5).

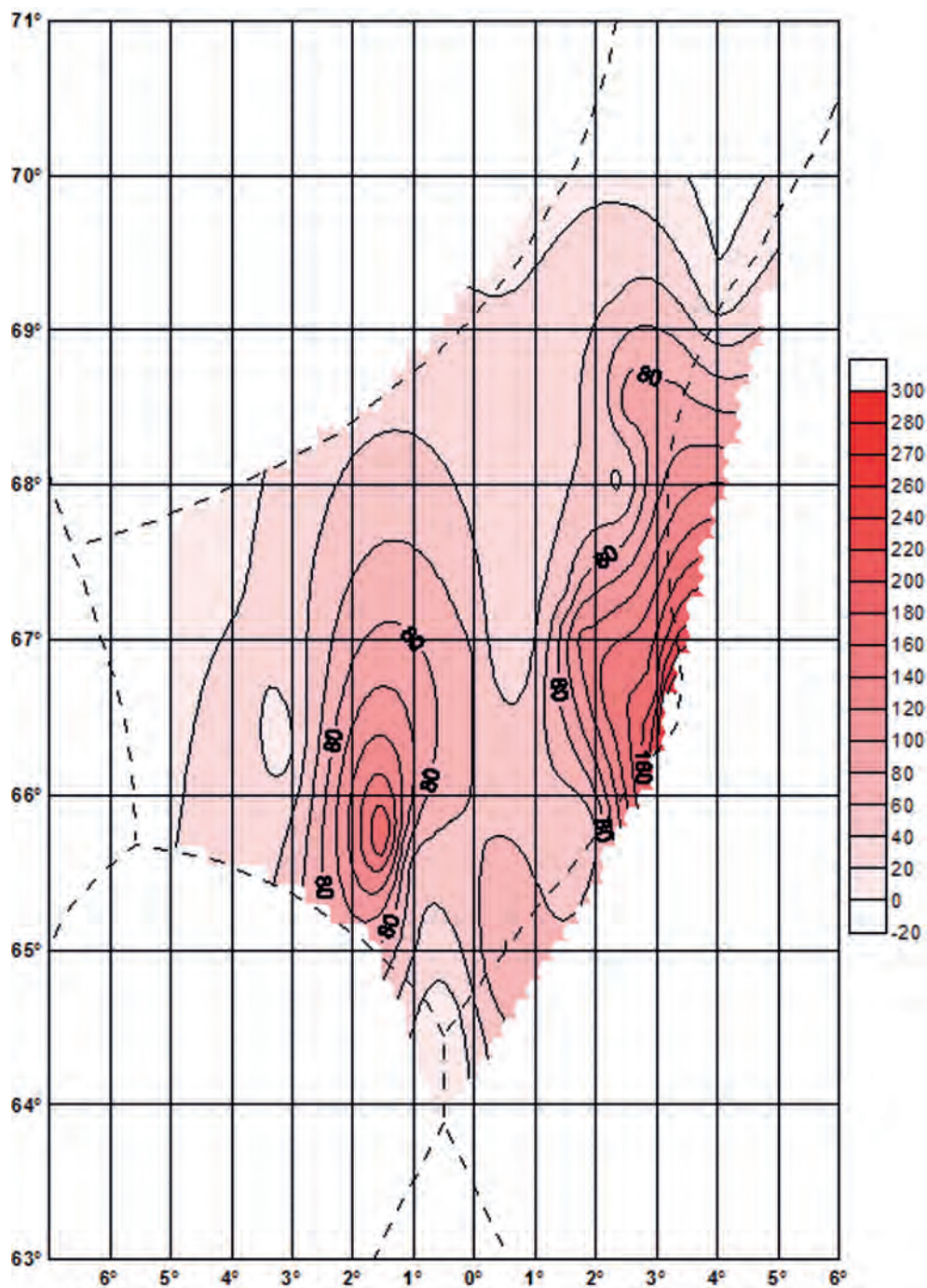
Молодь калянуса встречалась лишь на небольших участках в юго-западной, южной и северо-восточной частях региона. В более значительных количествах личинки калянуса, ova и молодь встречалась на 41-й и 42-й станциях. Состояние калянуса на основной акватории соответствует летнему периоду, а на небольших участках отмеченных выше — весенне-летнему. Присутствие в планктоне последних станций значительного количества науплиев и ova, наряду с небольшим количеством молоди и половозрелыми особями свидетельствуют о недавнем нересте зоопланктона, примерно 15–16 июля. Вероятно, это развитие второй генерации зоопланктона. Такой же примерно возрастной состав калянуса отмечался в июле 1994 г. Однако отсутствие молоди калянуса в 1997 г. показывает на более интенсивное развитие калянуса в 1997 г., по сравнению с 1994 г. Это несомненно связано с усилением ещё в июне (наблюдения НИС «Атлантида») вод Западной ветви Норвежского течения и радиационным прогревом поверхностных вод в июне – июле 1997 г.



**Рисунок 9.3.** Схема возрастного состава *Calanus finmarchicus* в июле 1997 г. в Норвежском море. 06.07–17.07.1997



**Рисунок 9.4.** Распределение численности *Calanus finmarchicus* IV-V копепоидитных стадий (экз./м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море. 06.07.–14.07.1997



**Рисунок 9.5.** Распределение численности *Calanus finmarchicus* VI копепоидных стадий (экз./м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море. 06.07–14.07.1997

Другие представители рачкового зоопланктона Euphausiacea и Hyperiididae были обнаружены в основном в северо-восточных и восточных районах ОЧНМ, встречались единично, вероятно, из-за недолова их сетью Джели и большого значения в формировании общей численности зоопланктона не имели.

Эвфаузииды были представлены личинками старших возрастов (*furcillia* и *cyrtopia*) и единично взрослыми особями *Thysanoessa longicaudata*, а гиперииды — молодью *Parathemisto abyssorum*. Численность их была невысокой.

Холодолюбивые организмы — крылоногие моллюски *Limacina helicina*, *Clione limacina* и пелагический бокоплав — *Parathemisto libellula* в исследуемом районе не встречались, что вероятно объясняется повышенным теплосодержанием водных масс в этом году в летний период. Теплолюбивые зоопланктеры крылоногий моллюск — *Limacina retroversa* и колониальная радиолярия *Collozoum* наблюдались в местах наибольшего скопления фито- и зоопланктона на северо-востоке ОЧНМ. Неритические организмы — личинки донных животных *Bivalvia juv.*, *Echinodermata larvae*, *Polichaeta larvae*, *Ofiura juv.*, *Bryozoa larvae* распределялись в районах с пониженной солёностью на юго-востоке, в смешанных водах на северо-востоке и на востоке ОЧНМ (рисунок 9.6).

Гидромедузы *Aglantha digitale* в значительном количестве развивались в северо-восточных и восточных районах ОЧНМ (рисунок 9.7). Такое широкое распространение гидромедуз обуславливалось, вероятно, значительным влиянием вод Западной ветви Норвежского течения и повышенным радиационным прогревом поверхностных вод.

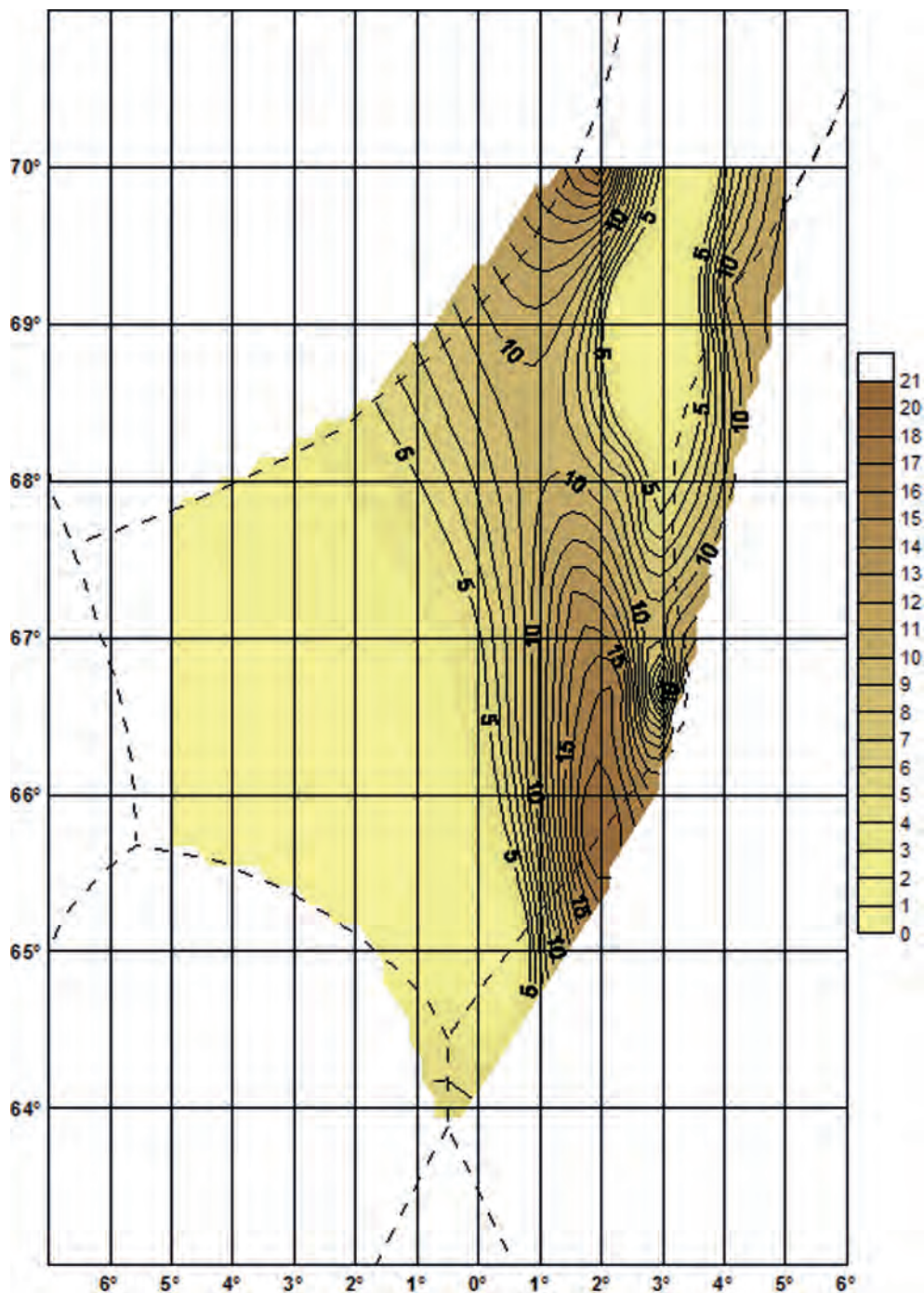
Основные скопления планктона в исследуемый период, как и в предыдущие годы (Грузов, 1963; [http://www.rfbr.ru/rffi/ru/project\\_search/o\\_144271](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_144271)) наблюдались в слое 0...50 м, а чаще всего, в слое 0...25 м, лишь в северо-восточных районах ОЧНМ, в местах циклонического завихрения наблюдались высокие биомассы планктона до 200 м, вероятно во всей толще воды (рисунки 9.8–9.10) (Мордасова, Метревелли, 1999). К сожалению, нельзя сказать о величине скоплений в нижних слоях воды из-за тотального облова планктона от поверхности до 200 м, однако самые высокие биомассы планктона в этом районе в слое 0...200 м (102 мл — 4746 мг/м<sup>3</sup>), по сравнению с биомассами поверхностных слоёв 0...25 м (20 мл — 7463 мг/м<sup>3</sup>) и 0...50 м (24 мл — 4469 мг/м<sup>3</sup>) позволяют говорить о наличии этих скоплений в нижних слоях воды. По показаниям зонда на этой станции отмечалось повышенное содержание хлорофилла глубже 100 м (Мордасова, Метревелли, 1999).

Биомассу планктона здесь составляли диатомовые водоросли весенне-летнего комплекса, гребневники, гидромедузы и рачковый планктон, в основном copepody (распределение приводится по значимости). На основной акватории района биомассу планктона составляли диатомовые и перидиниевые водоросли летнего комплекса и рачковый планктон, главным образом *Calanus finmarchicus* старших возрастных групп, а в юго-восточных районах — рачковый зоопланктон — *Calanus finmarchicus* и др. и в меньшей степени перидиниевые водоросли.

Высокие биомассы планктона в исследуемом районе наблюдались на большой акватории в юго-западных, западных, северо-восточных и восточных районах (см. рисунки 9.8–9.10). Самые высокие величины биомассы планктона были на северо-востоке и юго-западе ОЧНМ, а относительно небольшие на юго-востоке (Мордасова, Метревелли, 1999).

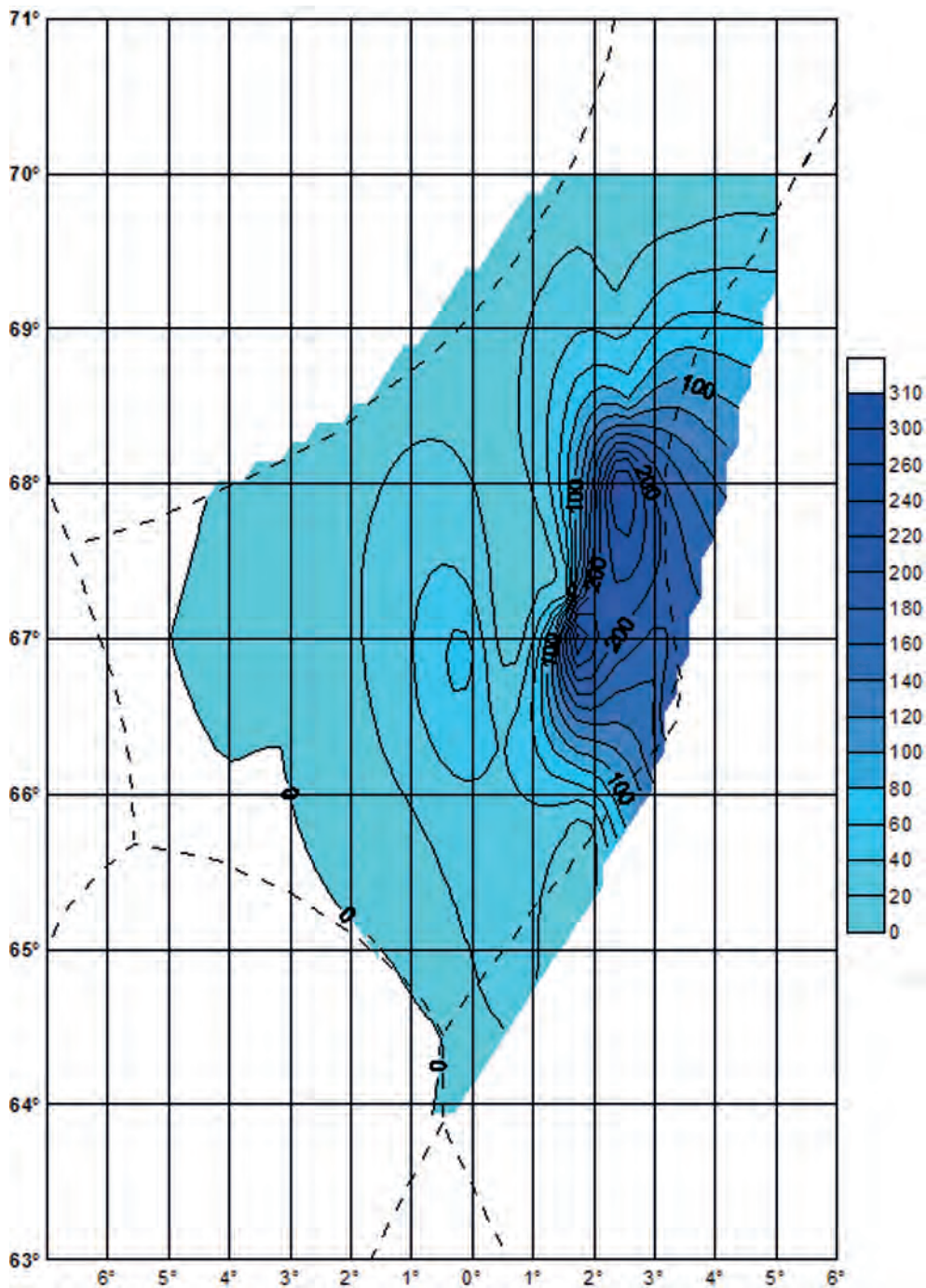
Численность всего зоопланктона была высокой также на большой акватории (рисунок 9.11) и особенно в слое 0...25 м, в основном, за счёт мелких copepod, *Oithona similis* и *Pseudocalanus elongatus*. Значительные концентрации *Calanus finmarchicus* отмечались в основном в юго-восточных и юго-западных районах ОЧНМ (рисунок 9.12) (Мордасова, Метревелли, 1999).

Эти районы можно считать наиболее продуктивными и благоприятными для откорма пелагических рыб. Основные особенности развития зоопланктона отмечаются и в период выполнения микрополигона в юго-восточных районах и представлены на рисунках 9.2, 9.13–9.21) (Мордасова, Метревелли, 1999).

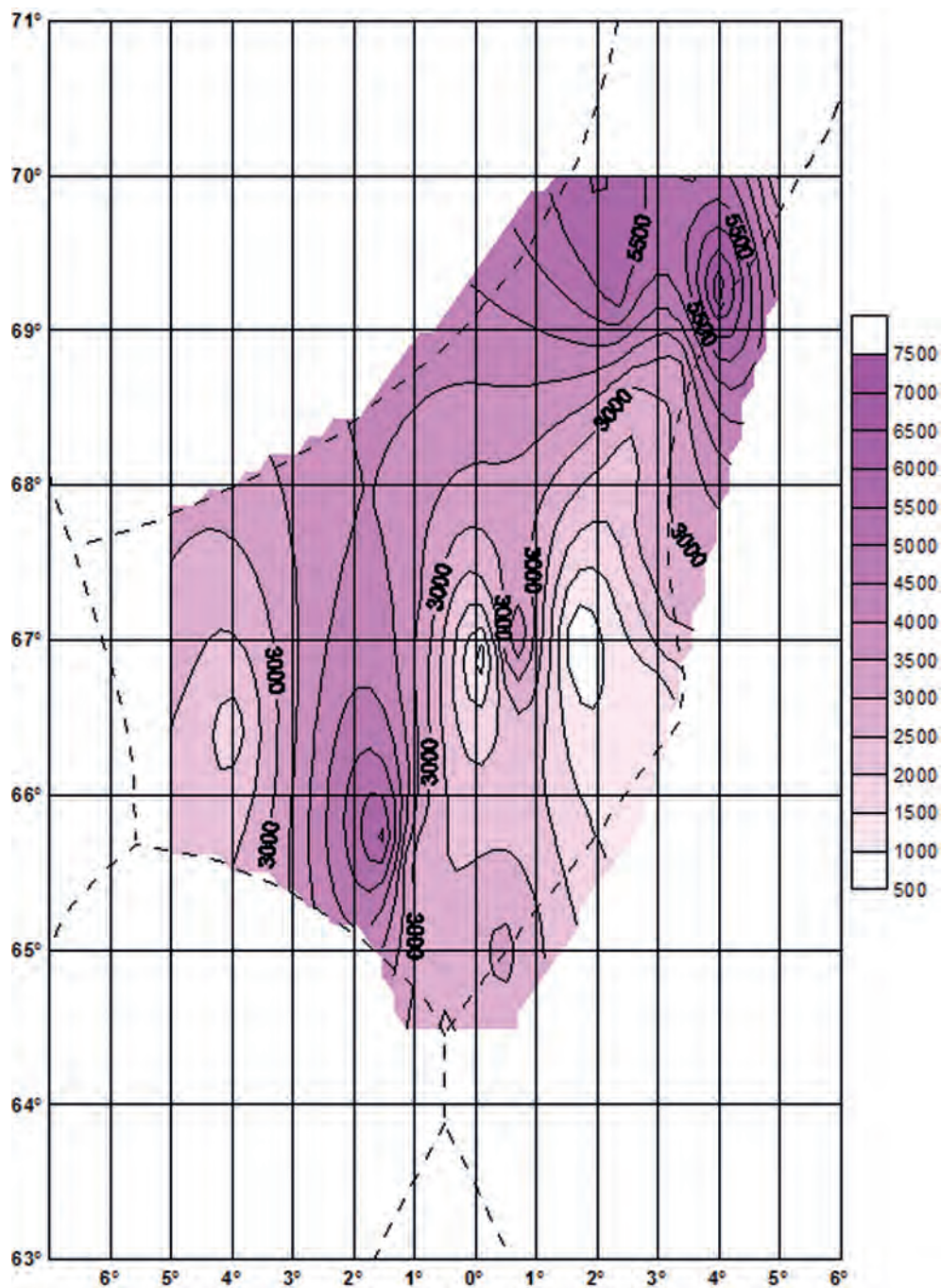


**Рисунок 9.6.** Распределение численности неритических зоопланктеров в слое 0...50 м в Норвежском море. 06.07–14.07.1997





**Рисунок 9.7.** Распределение численности гидромедузы *Aglantha digitale* (экз./м³) в слое 0...50 м в Норвежском море. 06.07–14.07.1997



**Рисунок 9.8.** Распределение биомассы планктона ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) в слое 0...25 м в Норвежском море. 06.07–14.07.1997

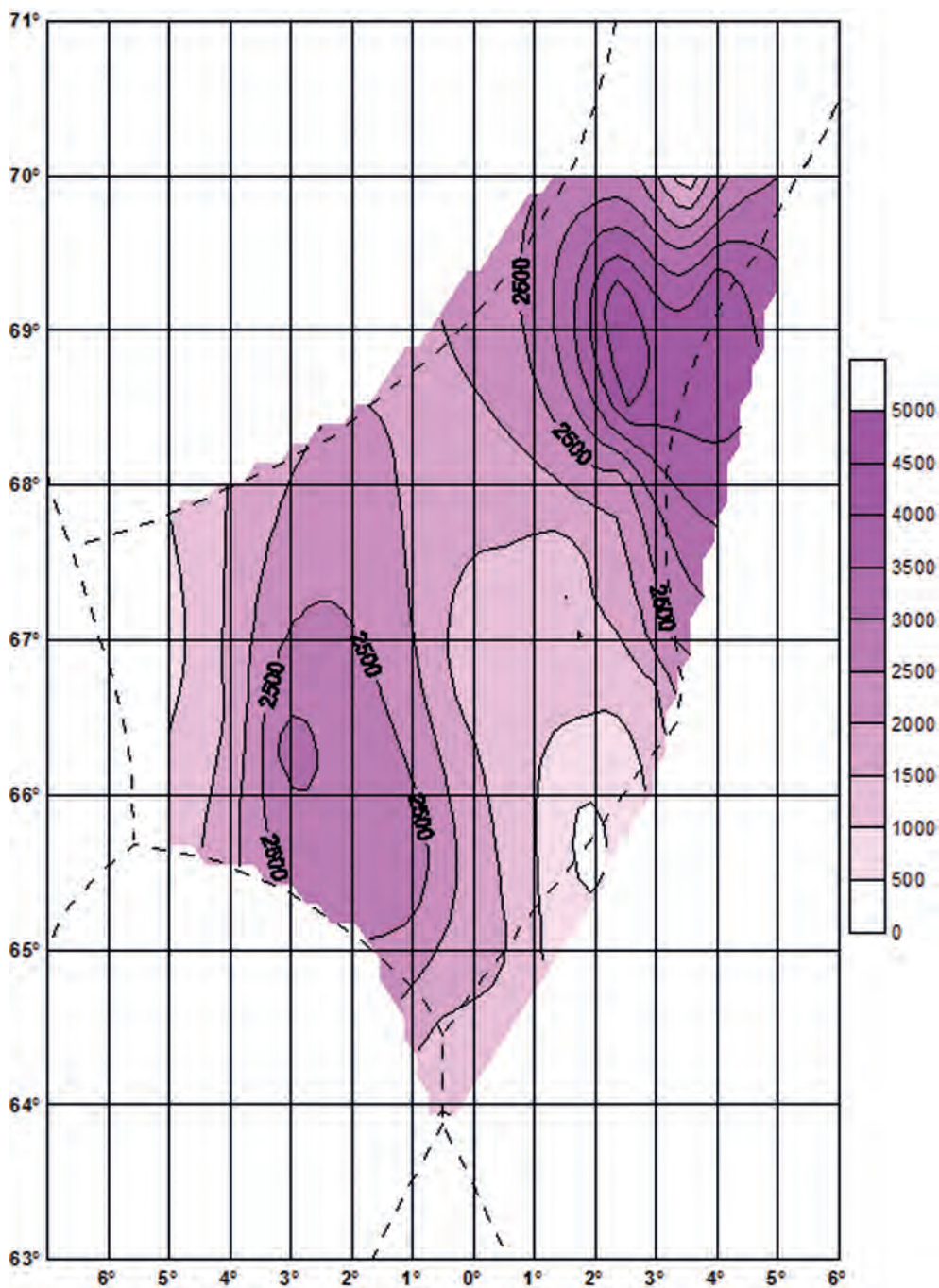
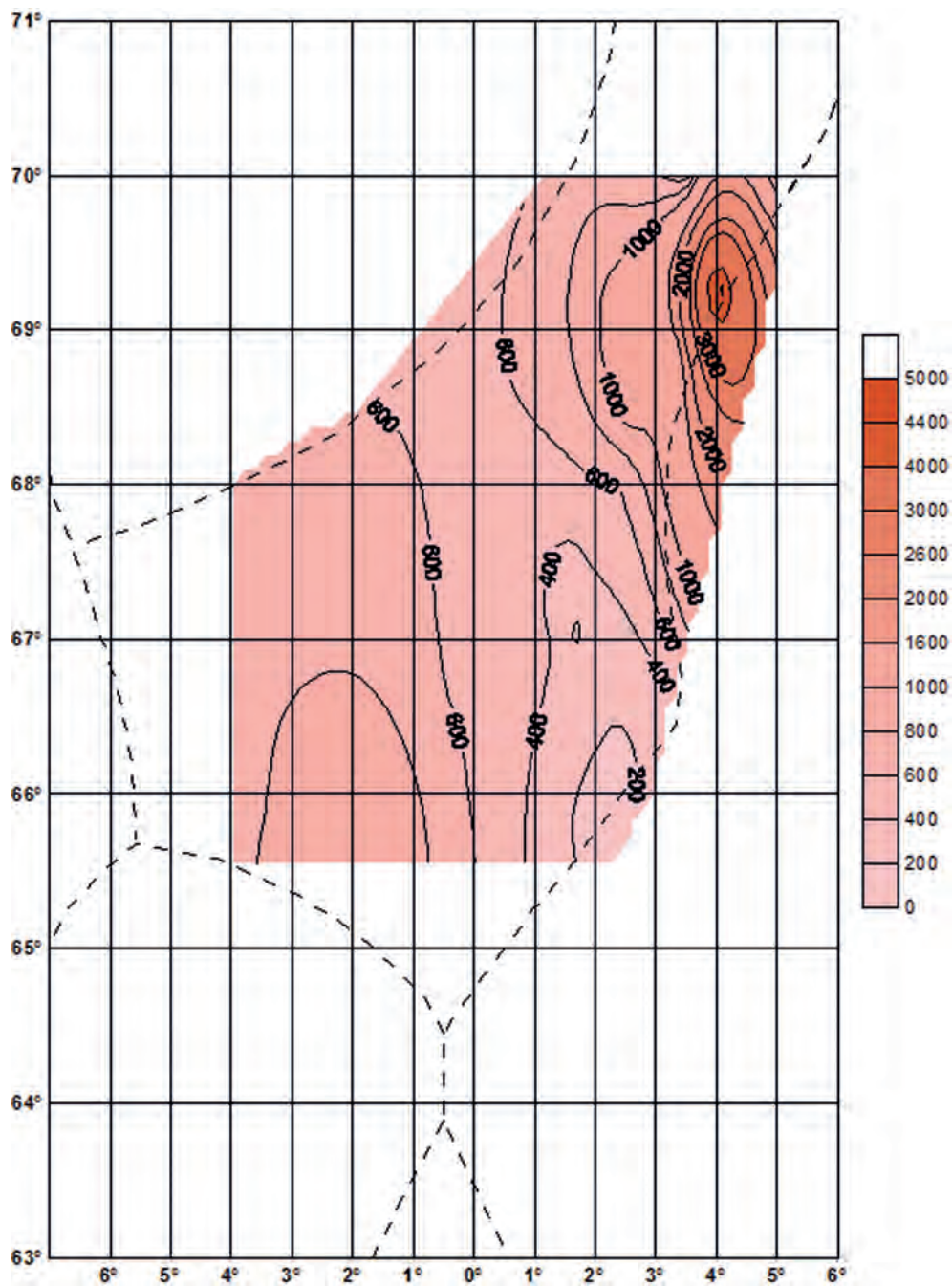
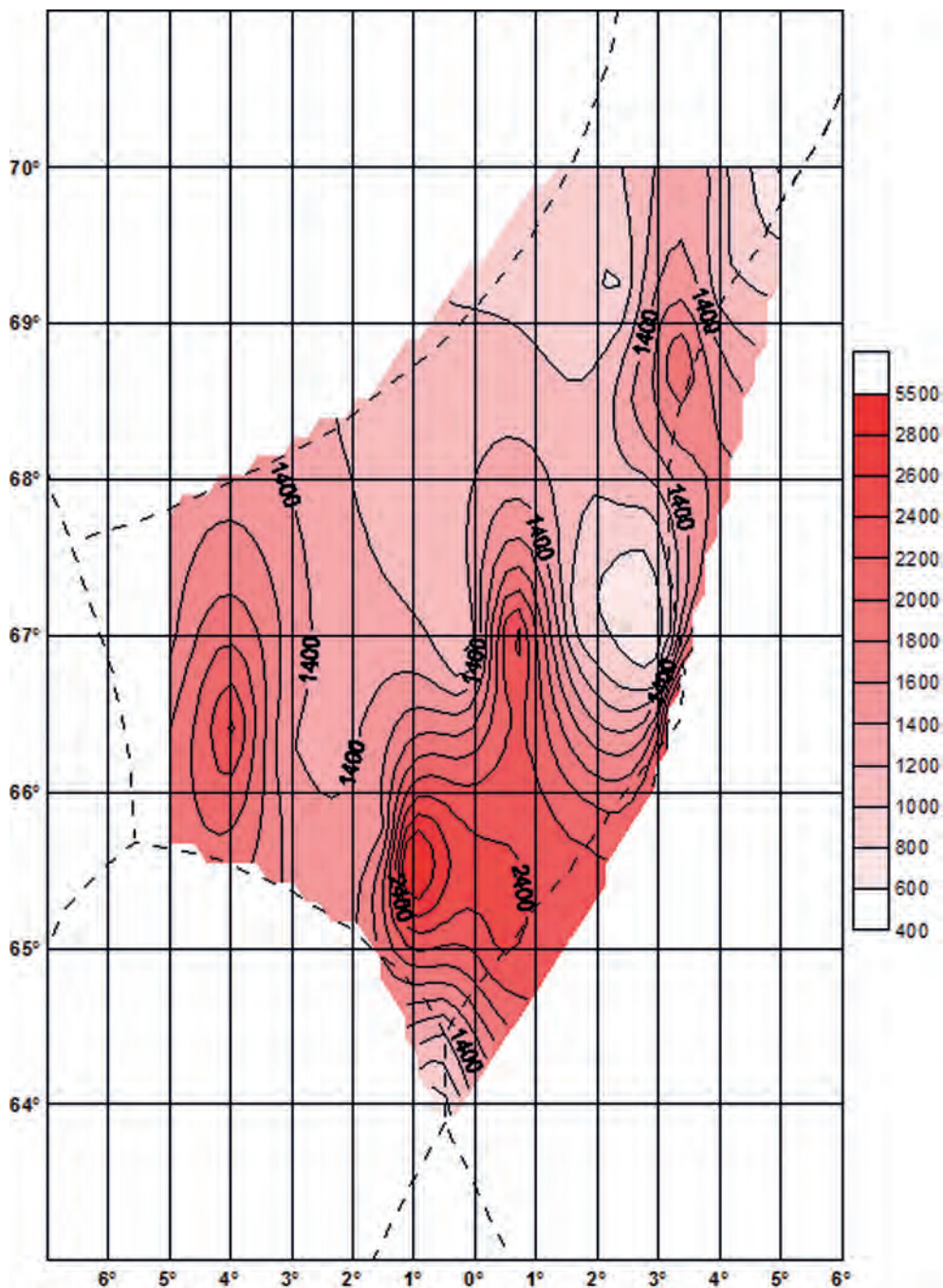


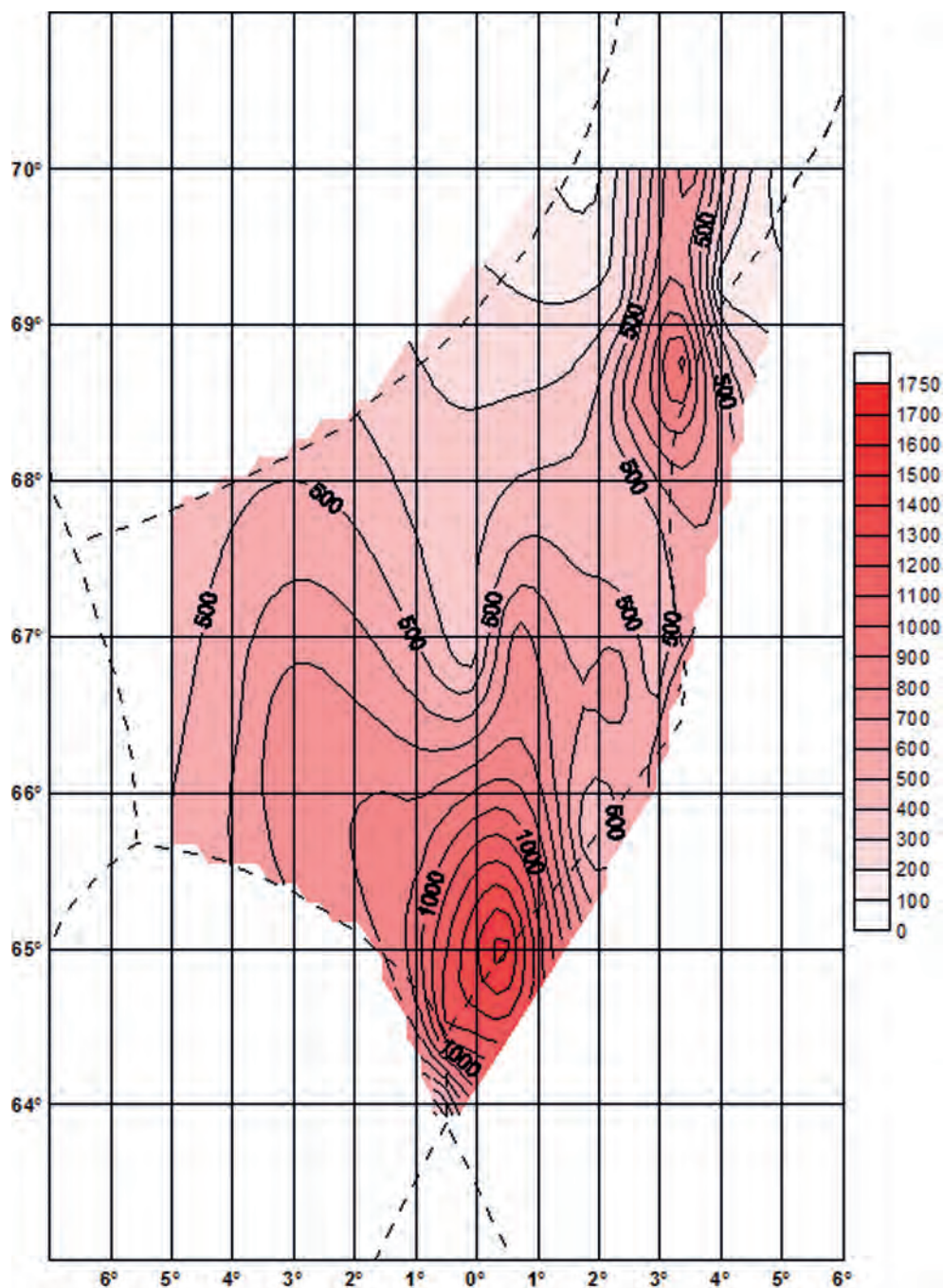
Рисунок 9.9. Распределение биомассы планктона ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) в слое 0...50 м в Норвежском море. 06.07–14.07.1997



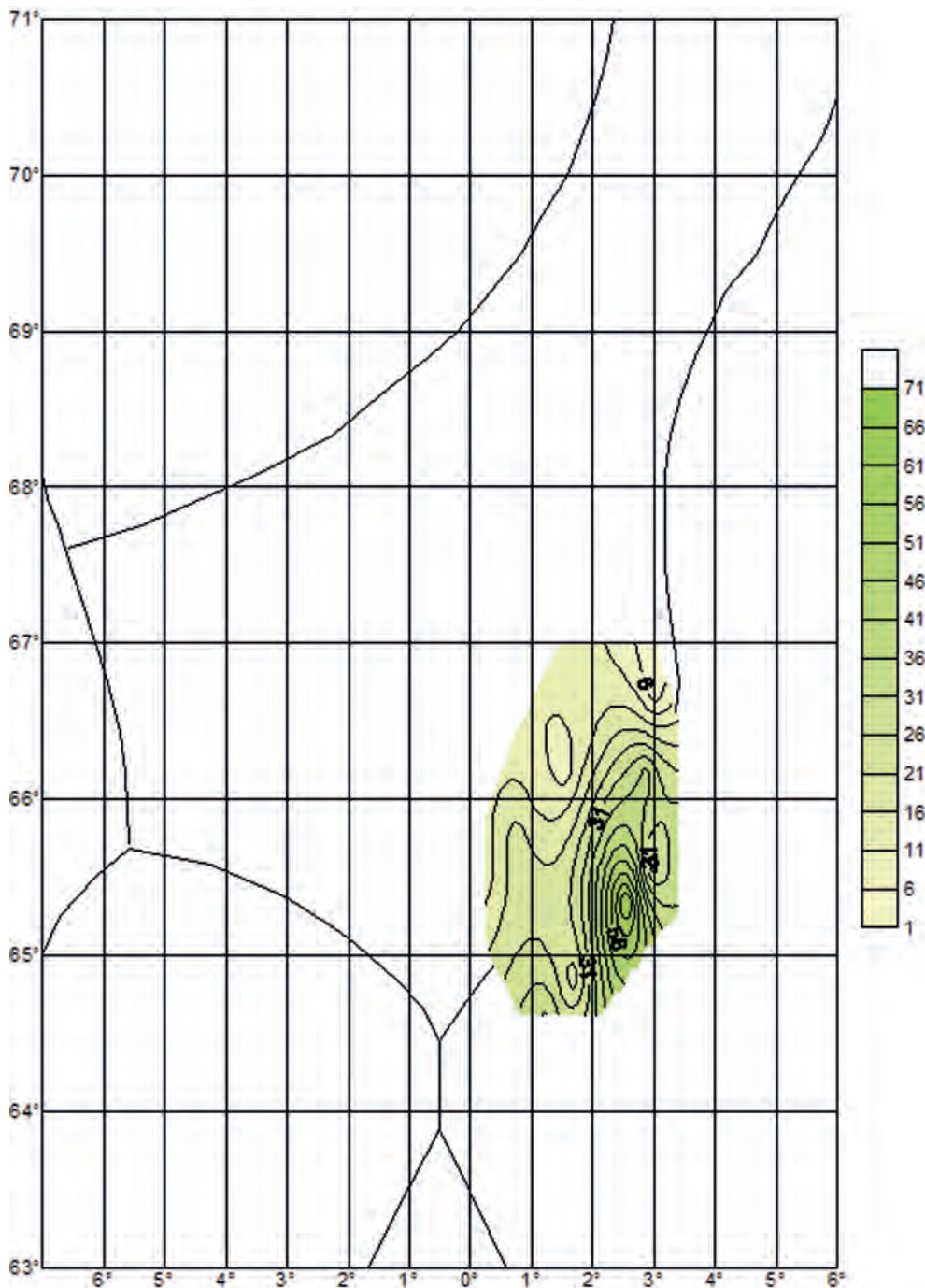
**Рисунок 9.10.** Распределение биомассы планктона ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) в слое 0...200 м в Норвежском море. 06.07–14.07.1997



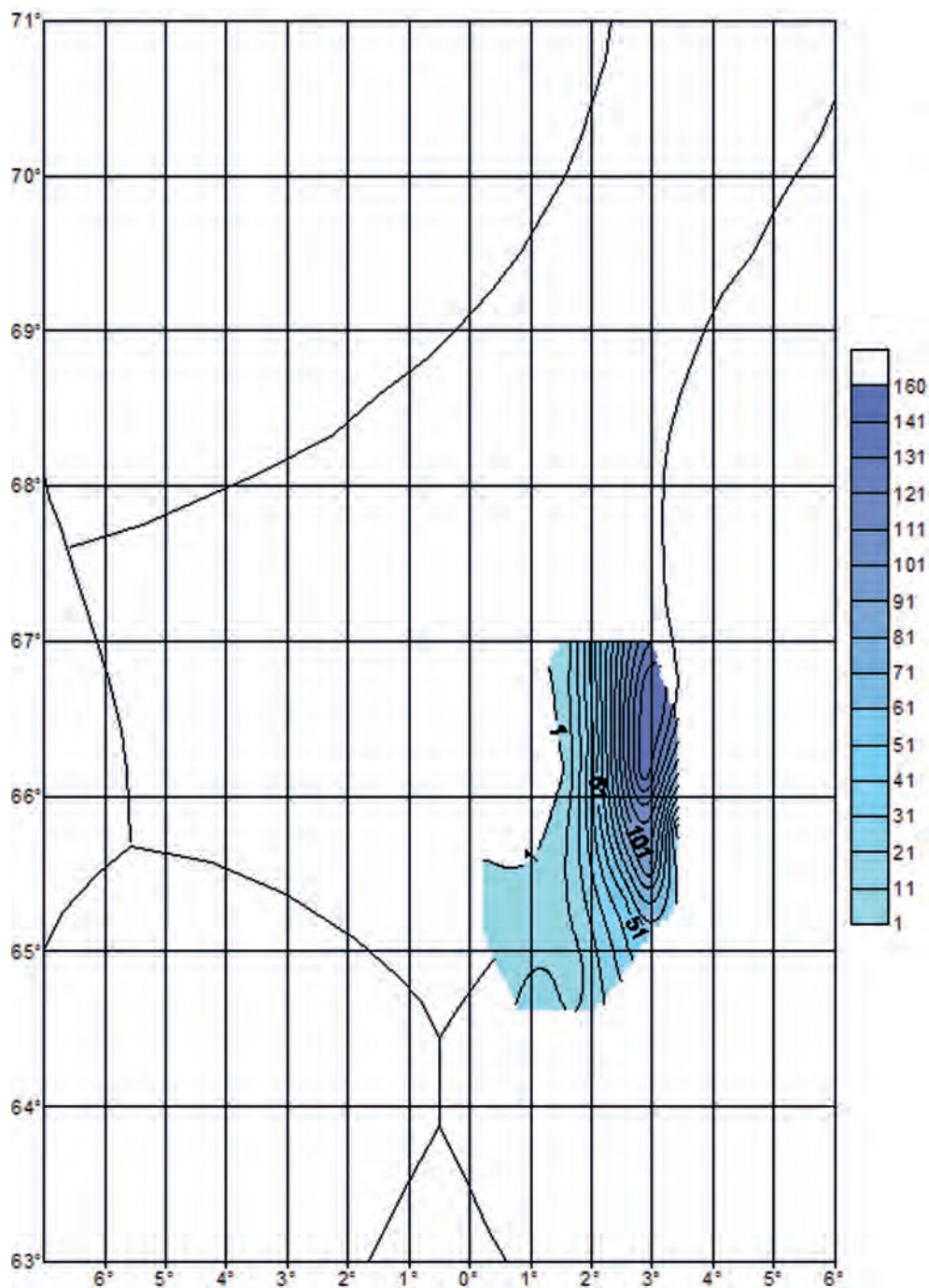
**Рисунок 9.11.** Распределение численности всего зоопланктона (экз./м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море. 06.07–14.07.1997



**Рисунок 9.12.** Распределение численности *Calanus finmarchicus* всех возрастных категорий (экз./м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море. 06.07–14.07.1997

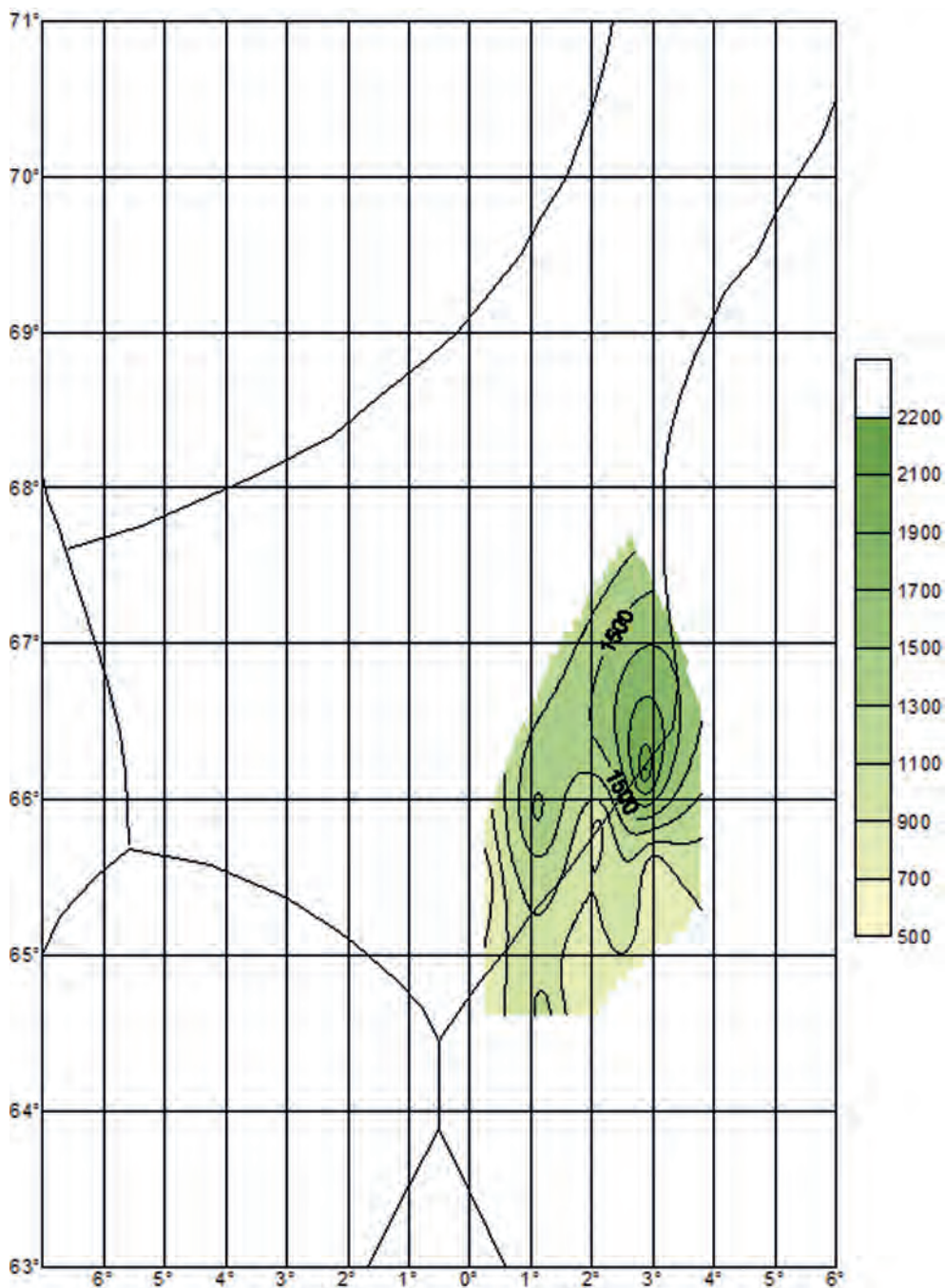


**Рисунок 9.13.** Распределение численности неритического планктона (экз./м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997

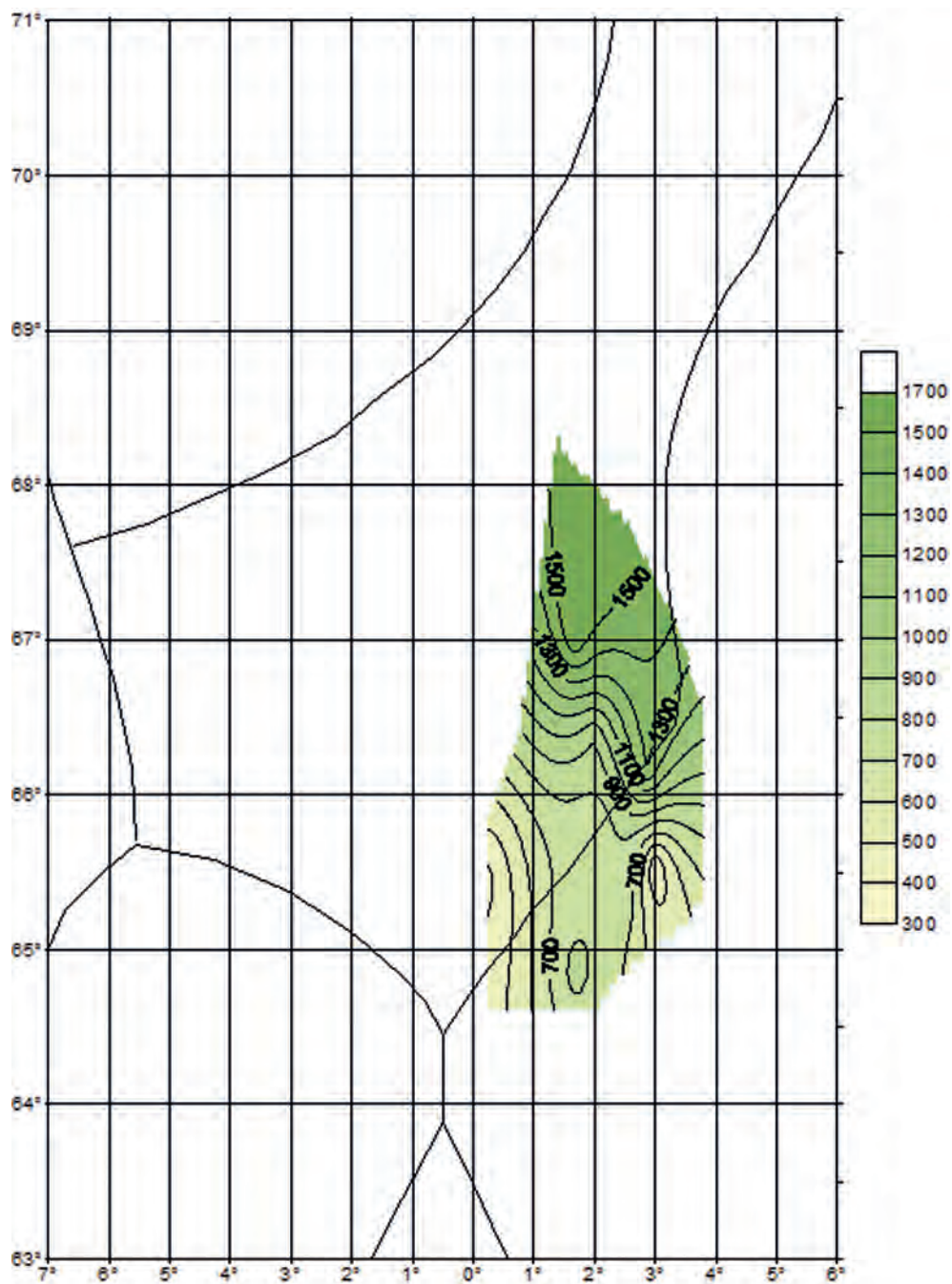


**Рисунок 9.14.** Распределение численности гидромедузы *Aglantha digitale* (экз./м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море в районе микрополигона, 14.07–17.07.1997

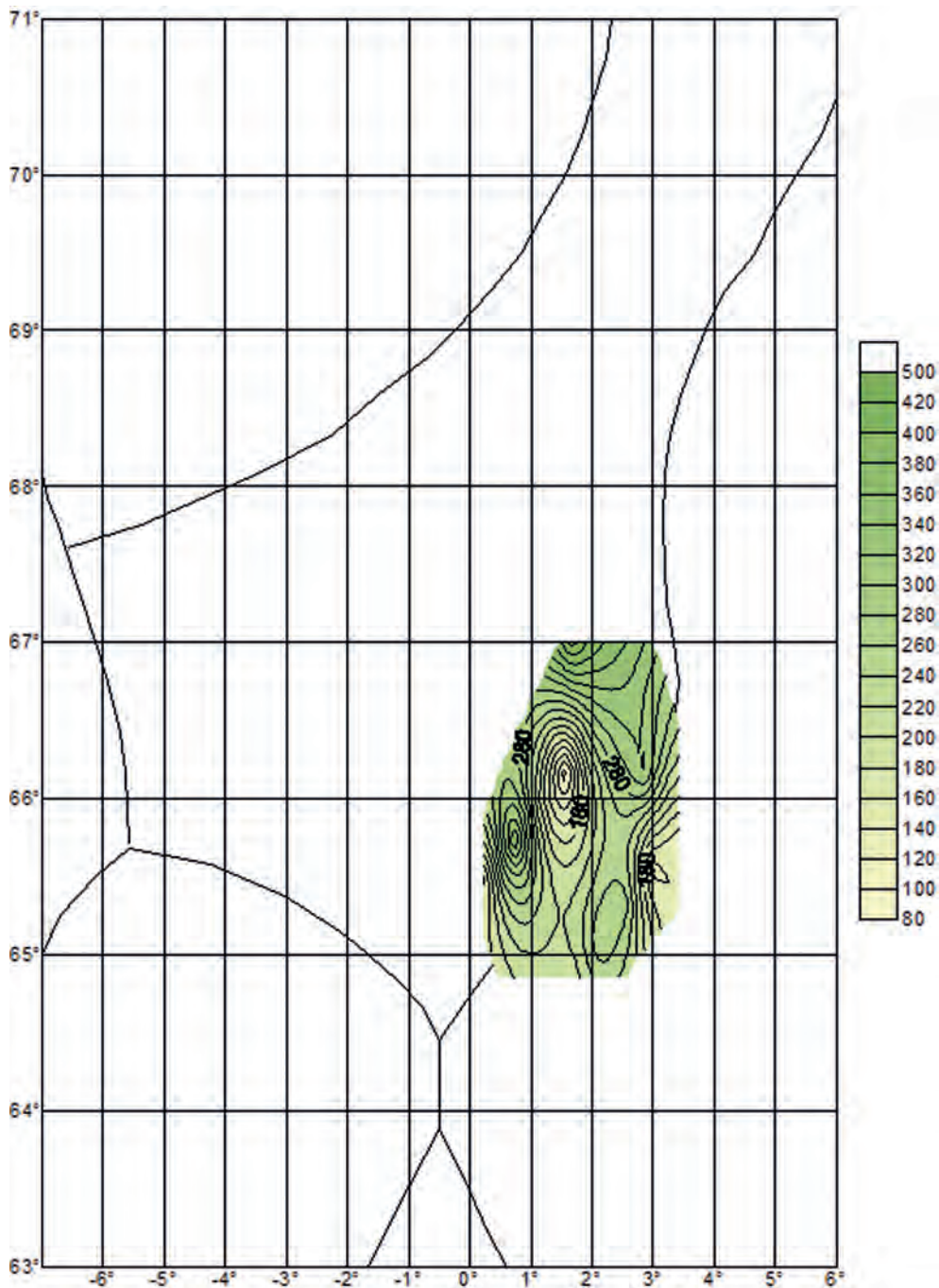




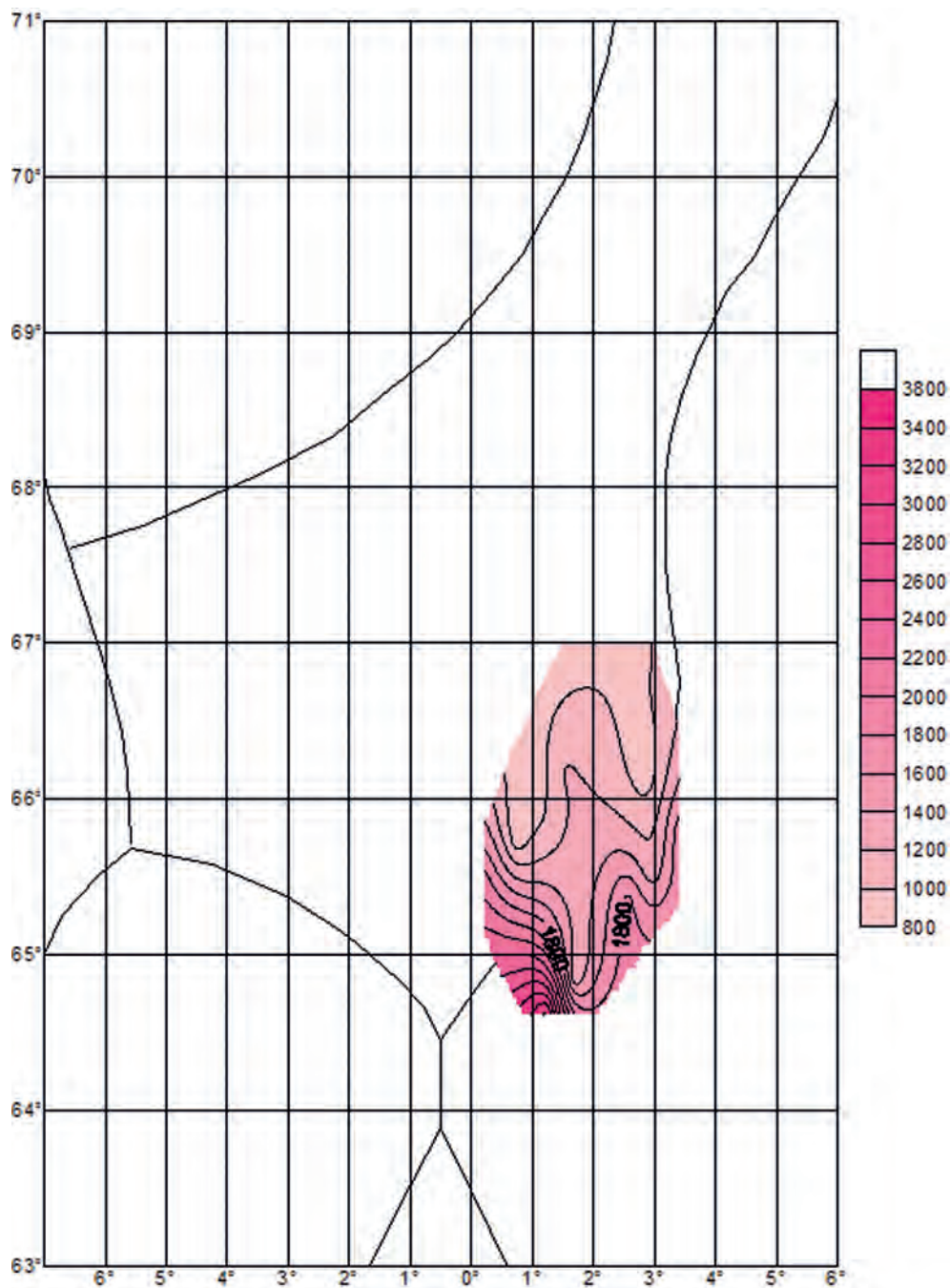
**Рисунок 9.15.** Распределение биомассы планктона (мг/м<sup>3</sup>) в слое 0...25 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997



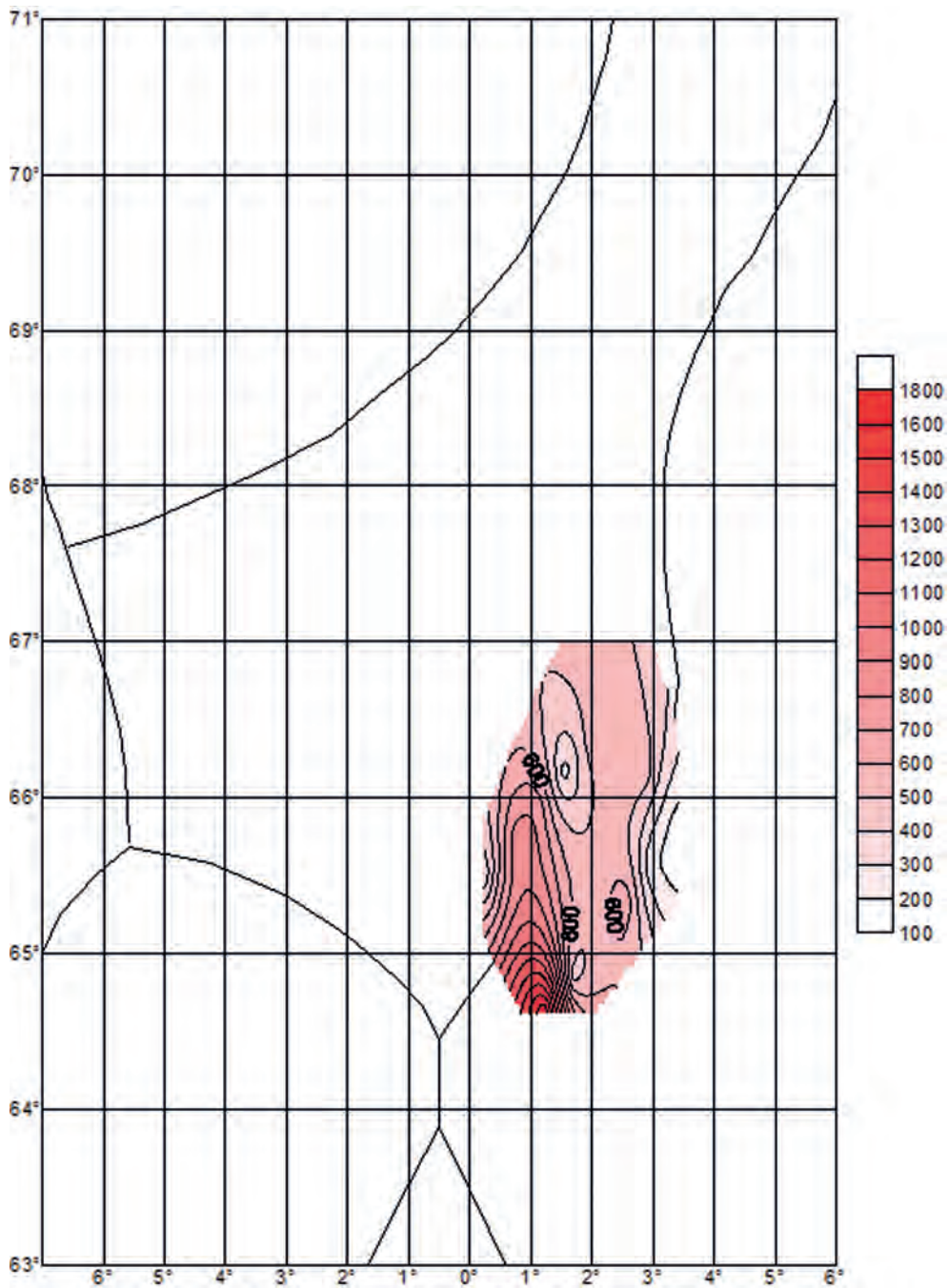
**Рисунок 9.16.** Распределение биомассы планктона (мг/м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997



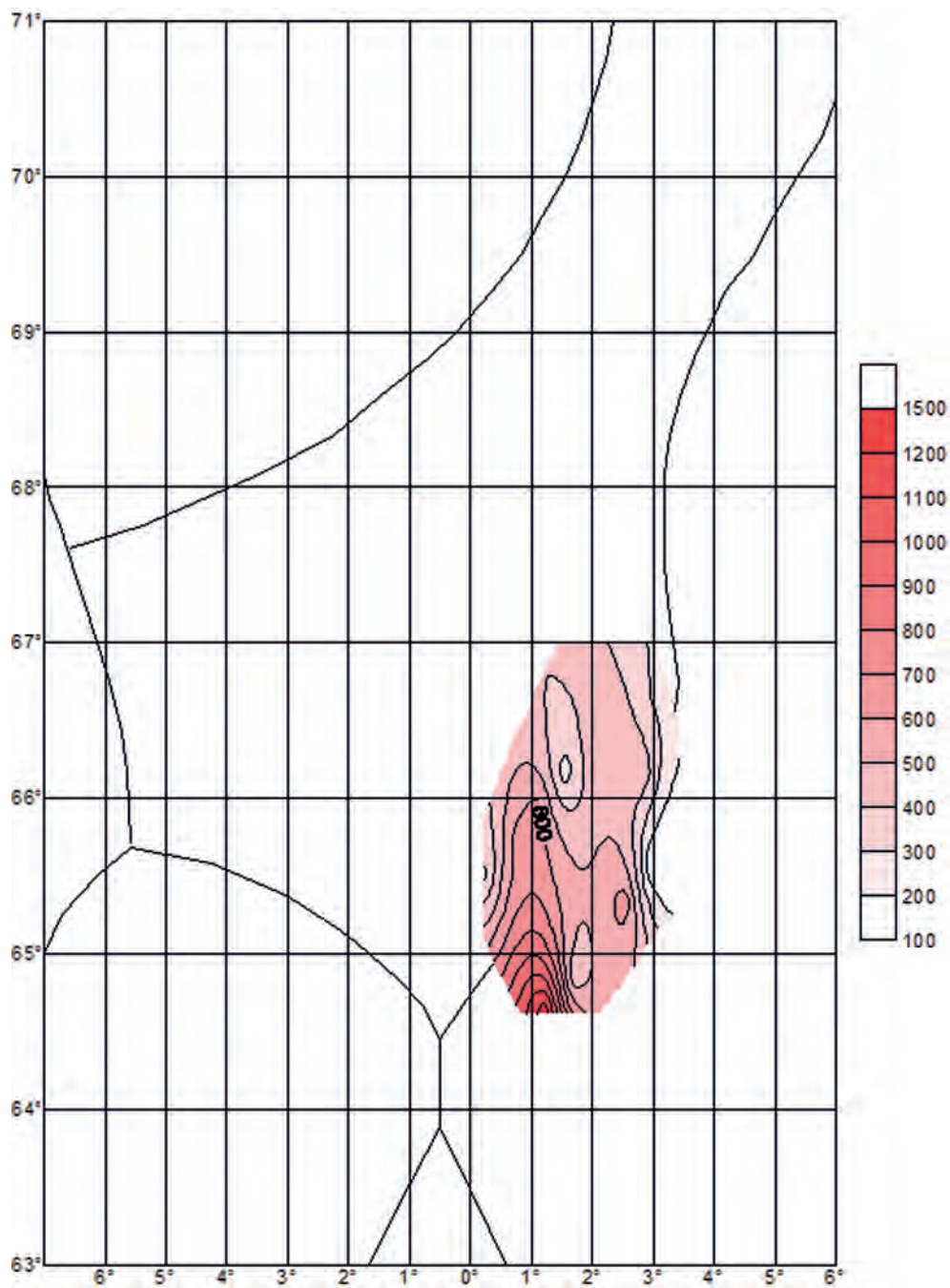
**Рисунок 9.17.** Распределение биомассы планктона (мг/м<sup>3</sup>) в слое 0...200 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997



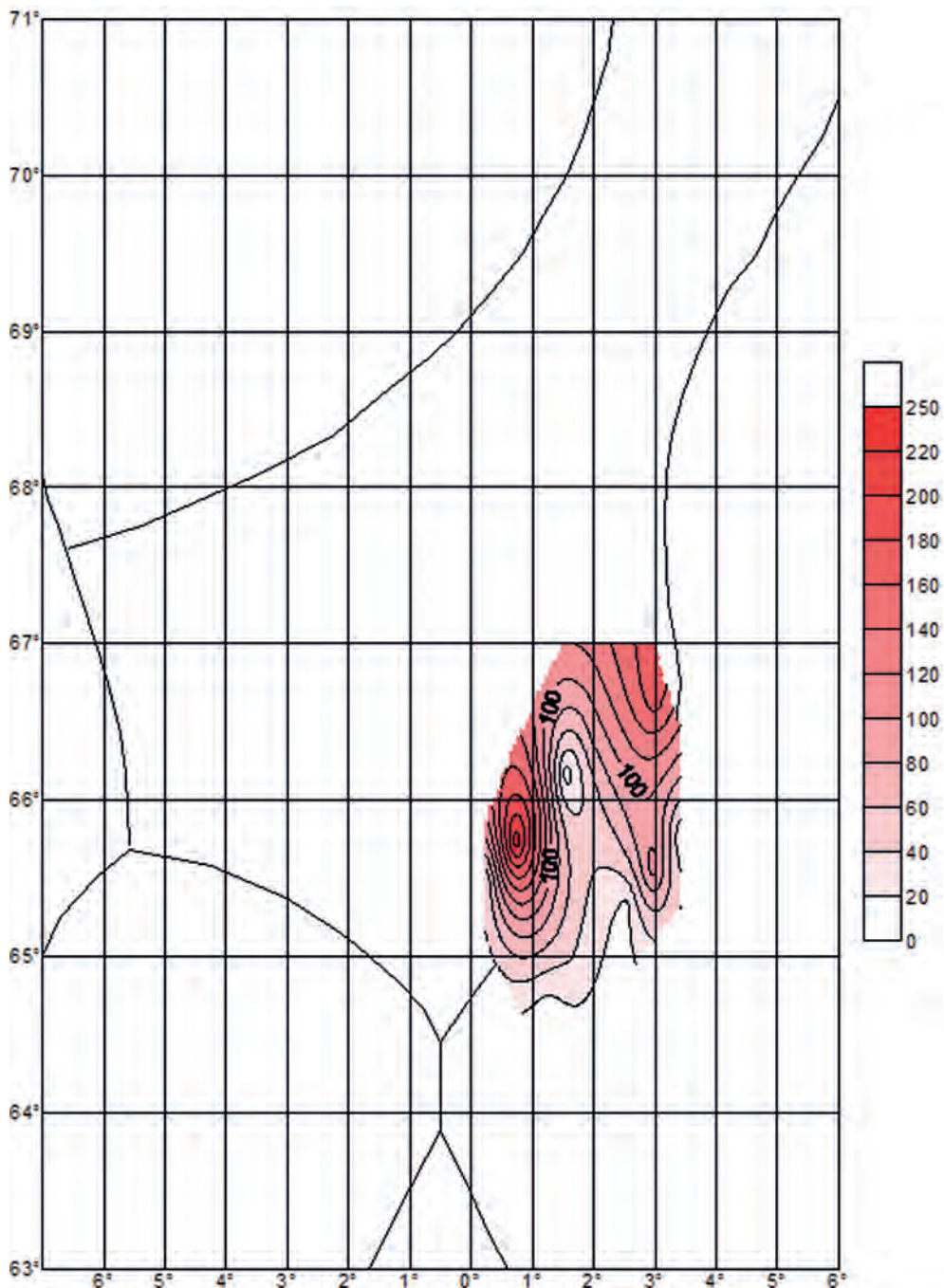
**Рисунок 9.18.** Распределение численности всего зоопланктона (экз./м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997



**Рисунок 9.19.** Распределение численности *Calanus finmarchicus* (экз./м³) в слое 0...25 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997



**Рисунок 9.20.** Распределение численности *Calanus finmarchicus* (экз./м<sup>3</sup>) в слое 0...50 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997



**Рисунок 9.21.** Распределение численности *Calanus finmarchicus* (экз./м³) в слое 0...200 м в Норвежском море в районе микрополигона. 14.07–17.07.1997

## 9.4. ВЫВОДЫ

По результатам проведённых исследований были сделаны следующие выводы.

Планктонные исследования в Норвежском море в июле 1997 г. показали на значительной акватории в юго-западных, юго-восточных и северо-восточных районах ОЧНМ массовое развитие диатомовых водорослей рода *Rhizosolenia*, а в юго-восточных — перидиниевых рода *Seratium*. Состояние фитопланктона в юго-восточных и западных участках соответствуют летнему периоду, а в юго-западных и северо-восточных — весенне-летнему.

Зоопланктон в июле на значительной акватории определяется высокой численностью мелких копепод *Oithona pumilis*, *Pseudocalanus elongatus* и более крупным *Calanus finmarchicus*. Возрастной состав калянуса на большей части региона представлен IV-VI копеподитными стадиями новой генерации. Молодь зоопланктона отмечалась лишь на небольших участках юго-западной и северо-восточной частей района. Состояние калянуса в первых районах соответствует летнему периоду, а в последних — весенне-летнему.

Основные скопления планктона в исследуемый период наблюдались в поверхностных слоях 0...25 и 0...50 м и чаще всего в слое 0...25 м. Биомасса планктона на основной акватории была высокой, особенно в местах массового развития фитопланктона. Большие скопления зоопланктона и, прежде всего, *Calanus finmarchicus* наблюдались в юго-западных и юго-восточных районах ОЧНМ, в местах интенсивного развития перидиниевых водорослей. Это наиболее продуктивные районы ОЧНМ в июле 1997 г. и благоприятные для откорма пелагических рыб.

Особенностью 1997 г. является массовое развитие гидромедуз на востоке района и неритических зоопланктеров — на юго-востоке. Аналогом развития фитопланктона является 1991 г., калянуса — 1996 и 1994 гг. Развитие калянуса в 1997 г. было интенсивнее, чем в 1994 и 1996 гг.



# Глава 10. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА С УЧЁТОМ ПРОМЫСЛОВОЙ СТАТИСТИКИ

Ежегодно в июне–августе (сентябре) в районе Норвежского моря (ФЭЗ, АЭЗ, НЭЗ, ОЧНМ) совершает нагульные миграции скумбрия, относящаяся к западно — ирландскому стаду.

По данным Международного совета по исследованию моря (ИКЕС) нерестовая биомасса стада в 1990-х гг. удерживалась на относительно стабильном уровне и оценивалась в 2,4 млн т. Среднегодовой вылов всех стран в этот же период составил около 2,3 млн т, из них на долю России приходится очень незначительная часть. Основная причина этого заключалась в том, что российский флот имел возможность вести промысел скумбрии только в двух подрайонах — ФЭЗ, в пределах 18 % от квоты путассу (в 1997 г. — 135 тыс. т), а также в ОЧНМ. В последнем районе ИКЕС ввел квотирование вылова скумбрии, начиная с 1998 г.

Специализированный лов рыбы в ОЧНМ проходит ежегодно с начала 1980-х гг. В связи с распределением скумбрии в самом поверхностном слое, преимущественно 0...30 м, межгодовые различия гидрометеорологических факторов оказывают существенное влияние на ориентацию её нагульных миграций. В свою очередь, это определяют значительные межгодовые колебания, как производительности лова, так и суммарного вылова.

В 1990-е гг. общий вылов судами Северного и Западного бассейнов изменялся в широком диапазоне — от 6,4 тыс. т в 1984 г. до 41,9 тыс. т в 1992 г. (Сентябов и др., 2000).

## 10.1. ФАРЕРСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗОНА

Первые уловы скумбрии в 1997 г. были отмечены несколько ранее среднегодового за период 1985–1996 гг. срока (14 июня) — во второй половине первой декады июня. Суда, ведущие промысел путассу в ночное время имели подъёмы до 4 т/тр.

В начале второй декады июня 1997 г. промысловые усилия сконцентрировались на участке, непосредственно примыкающем к АЭЗ, между 62°00'–62°30' с.ш., ТПО в этом районе составляла порядка 9,5°. Уловы судов составляли 12...30 т/тр., а 80...90 % приходилось на долю скумбрии размером 21...40 см, мода 35 см, средним весом 220...570 г, имевшую жирность 3,5 %. Рыба с таким модальным классом относится к средневозрастной, наиболее массовой части популяции.

Особенности распределения, а также указанные биологические характеристики позволили предположить, во-первых, преимущественно восточную ориентацию нагульных миграций, а, во-вторых, проход к середине июня рыб старших возрастных группировок на более северные, чем позиции флота участки.

Проведение в этот же период традиционной июньской съёмки Норвежского моря позволило получить подтверждение этим предположениям. При выполнении работ на гидрологическом разрезе по 63° с.ш. ТСМ «Атлантида» в уловах контрольных тралений между 2°00'–6°30' з.д. отмечал скумбрию размером 31...46 см, мода 36...41 см, в основном, 38...40 см. Выявленное распределение, при средней скорости нагульных миграций порядка 15...20 миль/сут, позволило ожидать выход в ОЧНМ скоплений «первой волны», сформированных крупной (мода 37...40 см) рыбой, в конце второй декады, «второй волны», наиболее массовой в структуре популяции, (мода 30...35 см) — в начале третьей декады июня.

По данным съёмки ТСМ «Атлантида» одной из характерных особенностей гидрологической ситуации в июне была значительная обострённость потока ВИТ (приложение 1). Отрицательная аномалия температуры в слое 0...500 м достигала 1,33°, а на поверхности — 0,7°. Сам поток чётко прослеживался в пределах ФЭЗ. Его острие, с участками максимальных градиентов, наблюдалось несколько севернее 63° с.ш., к западу от 2° з.д.

Данная гидрологическая картина должна была «блокировать» западную ветвь нагульных миграций. Тем самым укреплялось предположение о смещении основных промышленных концентраций скумбрии на нагул в ОЧНМ по восточной ветви через крайний восток ФЭЗ–АЭЗ–НЭЗ.

Последующий ход промысла находился в соответствии со сделанной оценкой. Основные участки работы флота во второй половине июня 1997 г. по-прежнему примыкали к АЭЗ между  $61^{\circ}00'–62^{\circ}30'$  с.ш. Уловы судов составляли 10...20 т скумбрии с приловом сельди, причём прилов зачастую составлял значительную величину — до 50...70 %. В первой декаде июля 1997 г., помимо участков в восточной части ФЭЗ, группа судов «Севрыбы» вела промысел на западе зоны — в районе Фареро-Исландского порога. Именно по причине восточной ориентации миграции развития промысел не получил. Уловы судов в при ТПО  $7,1^{\circ}$  —  $9,5^{\circ}$  не превышали 10 т/тр, а, в основном, составляли 5...7 т/тр скумбрии размером 25...38 см, мода 32...35 см, жирность 12 %. С развитием промысла в ОЧНМ суда вышли за пределы ФЭЗ.

## 10.2. ОТКРЫТАЯ ЧАСТЬ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

### 10.2.1. ИЮНЬ 1997 г.

Первые промысловые суда, 1-2 РТМС, 1 БАТМ Калининграда вышли в район в конце второй декады июня. На участке  $64^{\circ}40'–65^{\circ}20'$  с.ш.  $0^{\circ}30'$  з.д. –  $1^{\circ}$  в.д., преимущественно вдоль НЭЗ, их подъёмы составляли 1...5 т/тр. В южной части акватории большую часть улова составляла сельдь. С продвижением на север количество её уменьшалось. По данным РТМС 7555 рыба имела размеры 29...42 см, мода 35...37 см, средний вес 440...450 г, и активно питалась калянусом — капшаком. Интенсивность питания превышала 2 балла. Размерно — весовой состав указывал на то, что скопления «первой волны» вышли на нагул ещё ранее рассматриваемого периода, предположительно в начале второй декады июня. До конца месяца промысловый флот в составе 3-4 РТМС АО «Рыбпрогноз» продолжал работать на юге «декольте». Уловы судов лежали в пределах 5...15 т/тр, суточный вылов не превышал 25...30 т.

### 10.2.2. ИЮЛЬ 1997 г.

В начале месяца район начал активно пополняться промысловыми судами и к концу первой декады на лову находились 1 БАТМ, 6 БМРТВ, 1 БМРТА «Севрыбы» и до 5 БАТМ, 1 БМРТВ, 6 РТМС, 1 ТСМ Калининграда.

С окончанием периода активного северного переноса воздушных масс, наблюдавшегося над районом более 10 сут, интенсифицировался выход в открытую часть скоплений «второй волны». Промысел развивался на участках, вплотную примыкавших к НЭЗ между  $64^{\circ}30'–65^{\circ}20'$  с.ш. Промысловые концентрации скумбрии наблюдались в слое 0...30 м в виде отдельных групп из 2–5 косяков, имевших вертикальное развитие 1...15 м, в основном 5...7 м. Значения ТПО на участках промысла лежали в диапазоне  $9,8...10,5^{\circ}$ . Уловы судов круглосуточно составляли 2...40 т, в основном 8...15 т/(2–4) ч тр., что позволяло иметь суточный вылов до 100 т. В основе уловов отмечалась скумбрия размером 31...45 см, мода 34...36 см, средним весом 400...430 г.

По результатам съёмки НИС «Академик Борис Петров» на микрополигоне на картах распределения температуры и солёности были выделены градиентные зоны на севере исследуемой акватории (см. рисунки 4.6 и 4.8). По результатам измерений в регионе исследований отмечалось нарастание количества хлорофилла, а следовательно биомассы фитопланктона, с юга на север, что свидетельствовало о том, что на юге процессы весеннего цветения закончились, фитопланктон находится на фазе летней сукцессии, которая характеризуется началом падения концентрации фитопланктона и ростом количества зоопланктона. Эта фаза наиболее благоприятна для потока вещества на высшие трофические уровни, что способствует развитию промысловых объектов.

Исследования ПП с борта НИС «Академик Борис Петров» позволяли охарактеризовать регион ОЧНМ как высокопродуктивный (см. рисунок 7.1), так как большинство рассчитанных

величин чистой ПП (12 из 20) превышали  $1 \text{ г С/м}^2\text{-сут}$ . Концентрации чистой ПП достигали  $3,4 \text{ г С/м}^2\text{-сут}$ , что является достаточно высоким значением. Кроме того, в целом по исследуемому району при расчёте под квадратным метром поверхности в распределении продуктивных зон наблюдаются две области максимальных величин, одна из которых располагается на севере региона.

Кроме того, по результатам исследований планктонного сообщества были получены распределения концентрации калянуса, анализ которых показал, что концентрация последних существенно (до  $1500 \text{ экз./м}^3$ ) повышается в районе декольте (см. рисунок 9.4) и вдоль границы НЭЗ.

В целом, данные фоновой съёмки, выполненной НИС «Академик Борис Петров» показали, что выход скумбрии в ОЧНМ происходил в пределах хорошо выраженного тёплого залива вод западной ветви Норвежского течения.

К концу первой декады модальные группировки стали составлять 31...32 см, что свидетельствовало о развитии процесса выхода. Приуроченность участков промысла к НЭЗ подтверждала сделанную ранее оценку о преобладании восточной ориентации нагульных миграций и позволяла предположить наличие основных скоплений в пределах НЭЗ. Безусловно, что часть скоплений, пройдя через участки промысла, смещалась на нагул во внутренние районы ОЧНМ в западном, северном направлениях. Однако отсутствие в районе поискового судна не позволило достоверно проследить этот процесс.

Тем не менее, благодаря работам НИС «Академик Борис Петров» все же удалось найти подтверждение именно такой схеме миграций. В ходе выполнения фоновой съёмки с одновременным акустическим зондированием судно отмечало 11.07–12.07.1997 характерные РЗ скумбрии, а также косяки «верховодки» (см. рисунок 4.30).

Во второй декаде июля 1997 г. накопление флота в районе продолжалось и на промысле находилось до 40–45 судов, из них 5 РТМКС, 1–2 БАТМ, 1 БАТГ, 12–14 БМРТВ, 1 БМРТА, 2 ТСМ «Севрыбы», 3–4 БАТМ, 1 БМРТВ, 7 РТМС, 2 ТСМ Калининграда, 1–2 РТМС Литвы, 1–2 РТМКС, 1–2 РТМС, 3–4 БМРТ Эстонии. Промысловая обстановка удерживалась на удовлетворительном уровне. Основу успешной работы определяла настройка промышленного вооружения и тактика лова. Суда, имеющие опыт работы в районе, хорошо ориентирующиеся в промысловой ситуации, особенностях её развития успешно перевыполняли суточные нагрузки. Уловы в целом по флоту составляли 1...30 т, в основном 5...10 т/тр. Суточный вылов крупнотоннажных скоростных судов изменялся от 30 до 85 т скумбрии размером 30...42 см, мода 31...34 см, при среднем весе 340...390 г. Участки промысла по-прежнему располагались вдоль НЭЗ. Акватория лова расширилась вплоть до  $67^\circ$  с.ш.

В это период работы НИС «Академик Борис Петров» позволили дать конкретные рекомендации промысловому флоту (см. рисунки 4.5–4.14 и 4.16–4.21). При выполнении мезомасштабной съёмки между  $65^\circ$  и  $67^\circ$  с.ш. была получена информация о наиболее благоприятной для выхода скоплений гидрологической ситуации между  $65^\circ 40'$  и  $66^\circ 20'$  с.ш. Вышедший на эти позиции 17 июля 1997 г. флот в составе 24 судов имел уловы от 2 до 20 т, в основном 8...10 т/тр. скумбрии размером 29...40 см, мода 31...32 см, средним весом 350 г.

В третьей декаде июля 1997 г. промысловая обстановка стала характеризоваться нестабильностью, определявшейся снижением темпов нагульной миграции, интенсивности «выплесков» рыбы из НЭЗ. В периоды очередной «подпитки» уловы возрастали до 20...30 т/тр., а в основном лежали в пределах 5...8 т/тр. Соответственно, суточный вылов колебался в широком диапазоне от 10 до 50 т. По отношению к предыдущему периоду акватория промысла расширилась вплоть до  $68^\circ$  с.ш., а удаление от НЭЗ достигало на крайних северных позициях до 30 миль. Снижение темпов миграции хорошо прослеживалось по данным биологических наблюдений — уловы стали состоять из смеси рыб с модой 31...35 см при среднем весе 390...470 г, жирность рыбы возросла до 21 %. Приуроченность участков промысла к НЭЗ свидетельствовала о работе флота на западной кромке нагульного ареала скумбрии.

Подтверждение этому факту было получено в ходе выполнения НИС «Академик Борис Петров» трёх подспутниковых полигонов в НЭЗ между  $65^\circ$  и  $66^\circ$  с.ш.,  $2^\circ$  и  $5^\circ 30'$  в.д.

«Контактная» съёмка на подспутниковых полигонах показывает наличие вихревых структур в области исследований на распределении температуры солёности и флуоресценции хлорофилла, как на поверхности океана, так и на глубине до 50 м (см. рисунки 4.23–4.28).

По данным КА NOAA и ERS были выделены градиентные зоны и области циклонических и антициклонических вихрей (см. рисунки 2.21–2.26), благоприятные для проведения промысла с учётом областей с повышенными концентрациями хлорофилла “а” (см. рисунок 4.28) и фито- и зоопланктона (см. рисунки 9.1–9.10).

Вихревые структуры, отлично различимые на радиолокационных и ИК-изображениях, отлично различаются и на картах аномалий высоты поверхности океана (см. рисунки 2.29–2.31). Кроме того, местоположение, размеры и направление течений в указанных структурах совпадают (см. рисунки 2.33, 2.34).

В подтверждение информации ДЗЗ на распределении температур, полученном с борта самолёта-лаборатории также зарегистрированы структурные образования по форме и местоположению совпадающие с зарегистрированными КА (см. рисунки 3.11–3.15). Кроме того, в регионах подспутниковой съёмки с борта самолёта при помощи БРК РЛС, а также наблюдателями визуально регистрировалось большое количество косяков рыб (см. рисунки 3.1–3.8).

Акустическое зондирование позволило подтвердить наличие промысловой концентрации скумбрии между 2°30' и 5° в.д. Именно здесь располагалось ядро нагульных скоплений скумбрии в июле 1997 г., выходявших и облавливаемых флотом в ОЧНМ (см. рисунки 4.30–4.43).

В связи с низкой достоверностью промысловой статистики, передаваемой судами, точно определить вылов скумбрии в ОЧНМ затруднительно. По экспертной оценке в июне – июле 1997 г. всеми судами, принимавшими участие в промысле, добыто порядка 25...30 тыс. т скумбрии.

## 10.3. ВЫВОДЫ

Результаты проведённого анализа промысловой ситуации в ОЧНМ, а также оценка работы НИС «Академик Борис Петров» и результатов Эксперимента в целом показали возможность использования информации ДЗЗ в интересах информационной поддержки ведения промысла.

Кроме того, анализ результатов убедительно свидетельствует о том, что для максимально эффективного использования сырьевой базы в районе промысла необходимо нахождение одного-двух научно-поисковых судов, способных обеспечить оперативный мониторинг гидрологической, гидрометеорологической, гидрохимической и гидроакустической обстановки для оперативного формирования промысловых прогнозов.

# Глава 11. СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ОКЕАНА

В процессе работы над книгой предполагалось познакомить читателя с результатами комплексного эксперимента, проведённого объединённой командой специалистов различных научных интересов в Норвежском море в 1997 г.

Технический прогресс не стоял на месте и за прошедшие с момента проведения Эксперимента два десятилетия наука и технологии существенно продвинулись вперёд, особенно в области создания космической техники. Появились принципиально новые космические комплексы, которых не было 20 лет назад, которые, например, позволяют получить поверхностное распределение солёности океана. Кроме того, характеристики прочих метеорологических или радиолокационных систем существенно улучшились, а количество самих космических аппаратов значительно возросло, что привело к заметному снижению стоимости радиолокационной информации и повышению её доступности.

Значительно изменились альтиметрические космические комплексы, данные которых, 20 лет назад, только начинали применяться в океанологических и океанографических приложениях. Сегодня альтиметрические системы являются эффективным инструментом, позволяющим получить информацию не только по общей циркуляции океана в глобальном масштабе, но и значительное количество прочих параметров водной среды: значимую высоту волны, а, следовательно, скорость приводного ветра, среднюю высоту морской поверхности и пр.

Крайне перспективным направлением в последнее десятилетие является пассивная рефлектометрия навигационных сигналов, т.е. регистрация сигналов ГНСС для восстановления высоты морской поверхности в точке отражения навигационного сигнала регистрируемого на, например, низкоорбитальном космическом аппарате. Отмечая безусловную важность этого перспективного направления, отметим, что указанные технологии в рамках текущей работы рассматриваться не будут, поскольку определённо являются темой отдельного серьёзного исследования.

В этом разделе предполагается сделать краткий обзор перспективных технологий зондирования поверхности океана с некой оглядкой для внимательного читателя на их перспективное использование в будущих экспериментах аналогичных проведённому.

## 11.1. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

### 11.1.1. СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА JPSS

Комплекс JPSS (Joint Polar Satellite System) является метеорологической спутниковой системой нового поколения, использующей серию низкоорбитальных космических аппаратов США, разработанных по заказу NOAA национальным космическим агентством NASA.

Основными целями JPSS является (Burch, 2012):

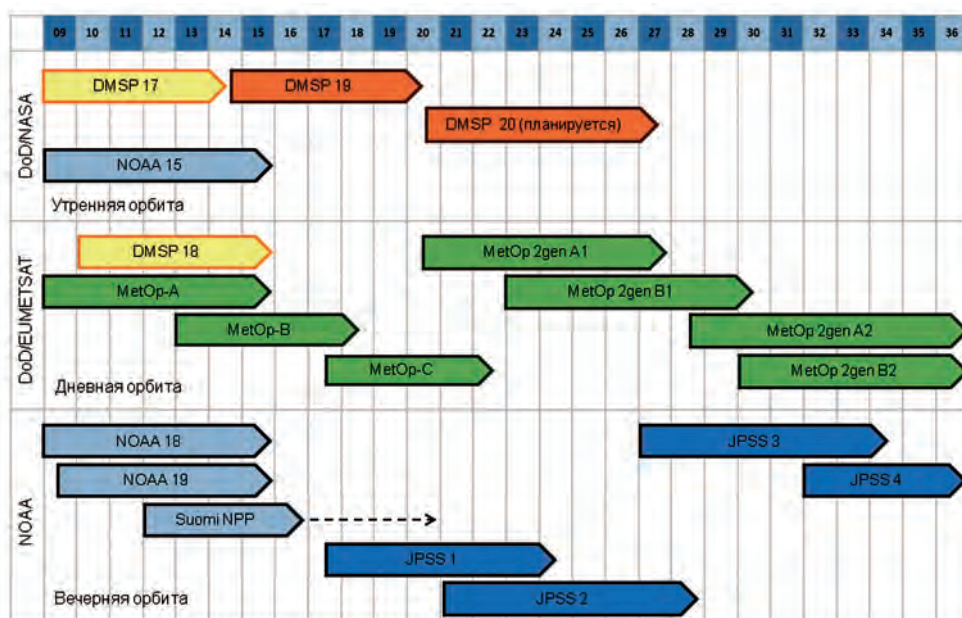
- увеличение своевременности и точности прогнозов значительных природных явлений;
- обеспечение улучшенных профилей температуры, влажности и давления в атмосфере из космоса;
- обеспечение расширенных возможностей мониторинга поверхности для анализа пожарной обстановки, вулканической деятельности, нефтяных загрязнений и пр.;
- непосредственная передача информации на удалённые терминалы с задержкой не более часа;
- поддержание непрерывных климатических измерений и получение критичных данных об окружающей среде с низкой орбиты из космоса.

Космический сегмент JPSS состоит из трёх космических аппаратов NASA (Suomi-NPP, JPSS-1, JPSS-2), обеспечивающих глобальное наблюдение подстилающей поверхности, а также измерение различных параметров атмосферы.

Основной потребитель информации космической системы JPSS национальная служба погоды NWS (National Weather Service) NOAA, которая использует данные космических аппаратов JPSS в моделях среднесрочного и долгосрочного прогноза погоды.

После полного развёртывания группировки информация JPSS позволит контролировать и предсказывать погодные условия с увеличенной скоростью и точностью; будет являться ключевым аспектом в обеспечении непрерывности климатических измерений, позволяя изучать долгосрочные климатические тренды. Информация JPSS улучшит и расширит климатические измерения для тридцати различных записей EDR (Environmental Data Records) атмосферы, поверхности суши, океана, климата и космического пространства (<http://www.jpss.noaa.gov/index.html>).

На рисунке 11.1 представлен план развития космической группировки системы JPSS совместно с вкладами европейского и японского космического агентств.



**Рисунок 11.1.** План развития космической группировки системы JPSS (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/n/noaa-20>)

### 11.1.1.1. Космический аппарат NOAA-20 (JPSS-1/2)

Космический аппарат JPSS-1, является аналогом КА Suomi-NPP (иногда называемого SNPP), использующий платформу ВСР-2000 (Ball Commercial Platform -2000). Масса КА составляет 2540 кг, платформа имеет трёхосную стабилизацию и общую мощность — 1932 Вт.

На КА JPSS-1, в отличие от Suomi-NPP, для комплексов VIIRS и CrIS была применена технология SpaceWire. КА оснащён радиолинией Ka-диапазона со скоростью передачи информации до 300 Мбит/с. Кроме того, отдельная линия X-диапазона со скоростью до 15 Мбит/с используется для передачи информации непосредственно на удалённые терминалы. Номинальный срок активного существования космического аппарата составляет 7 лет.

На рисунке 11.2 представлен внешний вид космического аппарата JPSS-1.

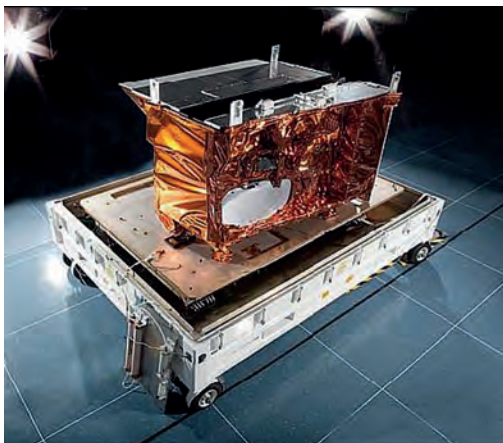


**Рисунок 11.2.** КА JPSS-1 с развёрнутой солнечной панелью (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/n/noaa-20>; <http://www.ofcm.gov/nopc/meetings/2014-01/JPSS%20Program%20Status%20-%20NOPC%20041714.pdf>).

Космические аппараты системы JPSS несут на борту большое количество различной научной аппаратуры для решения задач мониторинга подстилающей поверхности, атмосферы и околоземного космического пространства. В дальнейшем изложении мы будем останавливаться исключительно на приборах, которые применяются для исследования океанических процессов.

### *Спектрорадиометр VIIRS*

Комплекс VIIRS (Visible/Infrared Imager Radiometer Suite) (рисунок 11.3) разработан корпорацией Raytheon (США) и объединяет радиометрическую точность комплекса AVHRR-3 (Advanced Very High Resolution Radiometer), который используется на низкоорбитальных метеорологических космических аппаратах NOAA предыдущего поколения и относительно высокое пространственное разрешение для этого класса аппаратуры 0,56 км, как на OLS (Operational Linescan System), размещённой на космическом аппарате DMSP.



**Рисунок 11.3.** Внешний вид комплекса VIIRS (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/n/noaa-20>; <http://npp.gsfc.nasa.gov/viirs.html>).

Комплекс VIIRS построен с учётом технологий и опыта, применённых в различных предшествующих комплексах. Кроме упомянутых выше OLS и AVHRR-3, VIIRS базируется на технологиях, применённых в видеоспектрометрах MODIS и SeaWiFS, которые также решали задачи оперативного наблюдения подстилающей поверхности в разных спектральных диапазонах (Schueler et al., 2003; <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/n/noaa-20>; <http://npp.gsfc.nasa.gov/viirs.html>).

Комплекс VIIRS позволяет получать данные по температуре морской поверхности с лучшим пространственным разрешением и более высокой точностью, чем данные AVHRR-3 на аппаратах POES, кроме того, обеспечивать операционные возможности получения информации о цвете океана и формированию соответствующих вторичных (производных) продуктов (<http://www.star.nesdis.noaa.gov/jps/viirs.php>).

Полоса обзора комплекса VIIRS составляет 3000 км (что соответствует  $FOV = \pm 55,84^\circ$ ) с пространственным разрешением от 0,4 км в надире до 0,8 км к границе кадра.

Точность определения температуры составляет 0,25 К при стандартном отклонении 0,35 К. Масса прибора составляет 252 кг, энергопотребление 191 Вт, поток данных 10,5 Мбит/с (8 Мбит/с с компрессией) (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/n/noaa-20>).

### 11.1.2. КОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «МЕТЕОР-3М»

В начале 2000-х гг. в Российской Федерации была начата разработка принципиального нового космического комплекса гидрометеорологического назначения «Метеор-3М» с космическими аппаратами «Метеор-М» № 1 (рисунок 11.4) и «Метеор-М» № 2. Указанные КА были запущены в 2009 и 2014 гг. соответственно (Горбунов и др., 2015; Чуркин, 2009).



**Рисунок 11.4.** Внешний вид КА «Метеор-М» № 1

С учётом положительного опыта и успешной работы КА было принято решение о подготовке и запуске дополнительных аппаратов указанной серии «Метеор-М» № 2-1 и № 2-2. Запуск космического аппарата «Метеор-М» № 2-1 завершился неудачно, космический аппарат не вышел на связь. КА «Метеор-М» № 2-2 должен быть запущен в конце 2018 г. В перспективе предполагается запуск КА «Метеор-М» № 2-3 (2020) и № 2-4 (2021) в целом аналогичных по целевым характеристикам своим предшественникам ([http://www.vniem.ru/ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=611:---l-r--2-2-1-2-2&catid=82:--l-3r&Itemid=62](http://www.vniem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=611:---l-r--2-2-1-2-2&catid=82:--l-3r&Itemid=62)).

Космический комплекс «Метеор-3М» предназначен для решения задач оперативной гидрометеорологии.

С учётом комплекса приборов полезной нагрузки, размещённого на борту, КА позволяет получать многозональные изображения подстилающей поверхности для определения температуры поверхности океана, карт ледовой обстановки, верхней границы облачности и пр.



На борту КА размещены комплексы для исследования геогеофизической обстановки в околоземном космическом пространстве, обеспечения многоспектральной и широкополосной информацией среднего пространственного разрешения в интересах оперативного экологического мониторинга окружающей среды. Специализированный радиокomплекс приёма и передачи метеорологической информации обеспечивает ретрансляцию данных с метеорологических платформ (Горбунов и др., 2015).

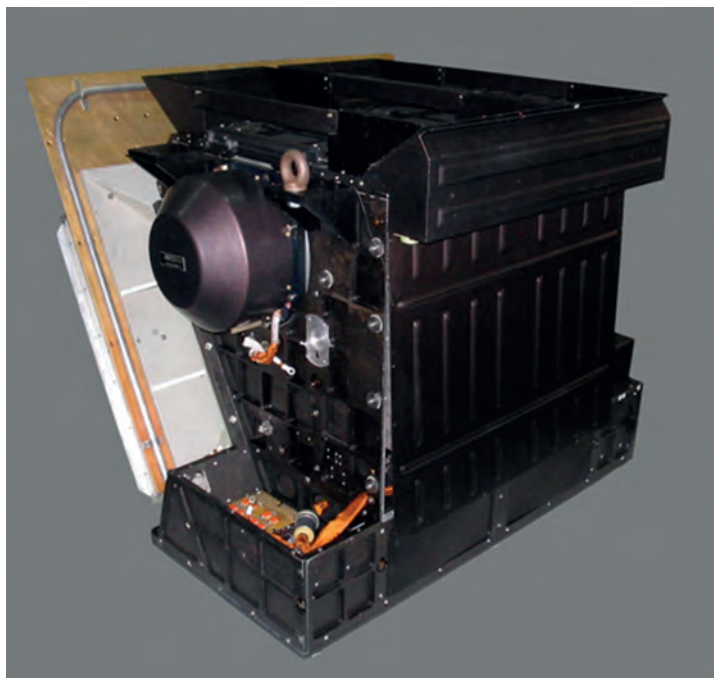
Спутники космического комплекса «Метеор-3М» запускаются на солнечно-синхронную орбиту высотой около 830 км, наклонением  $98,8^\circ$  и периодом обращения около 100 мин. Космические аппараты имеют массу около 3000 кг, при этом масса полезной нагрузки ~1200 кг. Мощность системы электропитания составляет 1,4 кВт (в пике до 2 кВт). Срок активного существования — 5 лет ([http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=611:--l-r--2-2-1-2-2&catid=82:--l-3r&Itemid=62](http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=611:--l-r--2-2-1-2-2&catid=82:--l-3r&Itemid=62)).

В интересах океанологических приложений на борту КА «Метеор-М» № 2-1 и № 2-2 размещено многоканальное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ МР) (Чуркин, 2009; [http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=611:--l-r--2-2-1-2-2&catid=82:--l-3r&Itemid=62](http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=611:--l-r--2-2-1-2-2&catid=82:--l-3r&Itemid=62)). Состав бортовой аппаратуры перспективных КА «Метеор-М» № 2-3 и № 2-4 предполагается расширить усовершенствованным радиолокатором «МетеоСар» (Горбунов и др., 2015).

#### ***Многозональное сканирующее устройство (МСУ-МР)***

МСУ-МР представляет собой многозональное сканирующее устройство малого разрешения, функционирующее в шести спектральных каналах от 0,5 до 12,5 мкм. Полоса прибора составляет 2900 км, пространственное разрешение 1 км (Акимов и др., 2015; [http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=612:--l-r-2-2-1-2-2&catid=82:--l-3r&Itemid=62](http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=612:--l-r-2-2-1-2-2&catid=82:--l-3r&Itemid=62)).

Внешний вид радиометра представлен на рисунке 11.5 (Акимов и др., 2015)



**Рисунок 11.5.** Внешний вид МСУ-МР (Акимов и др., 2015)

Масса радиометра составляет около 70 кг, энергопотребление около 100 Вт (Акимов и др., 2015).

## 11.2. АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИЕ И РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

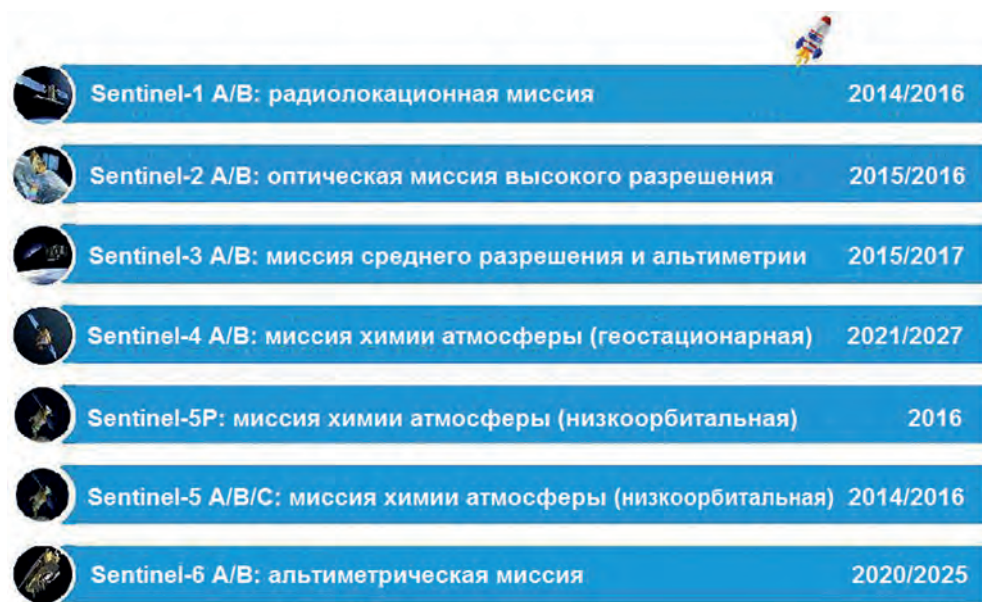
### 11.2.1. СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА SENTINEL

В октябре 2009 г. Европейская Комиссия выпустила коммюнике “GMES: Challenges and Next Steps for the Space Component” («Система GMES: Вызовы и следующие шаги для космического сегмента») в котором определялись взаимные роли ЕС, ЕК и ЕКА в рамках программы GMES.

В рамках этого документа ЕКА была утверждена в качестве координатора создания космического сегмента программы GMES, тогда как Европейское агентство окружающей среды ЕЕА (European Environment Agency) стало отвечать за координацию работ по «контактным» данным.

Космический сегмент GMES (или в текущем наименовании Copernicus) было решено реализовывать, базируясь на пяти концепциях космических миссий, которые получили наименование «Стражей» (Sentinels): «радиолокационная», «оптическая, высокого разрешения», «океанографическая и альтиметрическая», «химии атмосферы геостационарная», «химии атмосферы низкоорбитальная».

На рисунке 11.6 представлен порядок реализации миссий космического сегмента программы Copernicus. Всего, как видно на рисунке, до 2027 г. будет запущено 14 КА различного целевого назначения.



**Рисунок 11.6.** Космический сегмент программы Copernicus (Jutz, 2015; <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus>)

Чуть выше было указано, что основных базовых космических миссий Sentinels в рамках программы Copernicus должно быть пять. На рисунке представлено шесть миссий, тем не менее, в этом факте нет никакого противоречия. Дело в том, что КА Sentinel-6 предназначены для решения задач мониторинга высоты поверхности океана, также как, в том числе, и КА Sentinel-3. Однако они специально разделены на рисунке, поскольку являются функциональными последователями различных океанографических миссий TOPEX/Poseidon/Jason-1,2 и ERS/ENVISAT, соответственно.

### 11.2.1.1. Космический аппарат Sentinel-1

Миссия Sentinel-1 использует два аналогичных КА Sentinel-1A и 1B (рисунок 11.7), которые представляют собой изделия, несущие на борту интерферометрический радиолокатор с синтезированной апертурой. Миссия предназначена для обеспечения непрерывности радиолокационных измерений, полученных с КА ERS, ENVISAT и RADARSAT.



**Рисунок 11.7.** Внешний вид КА Sentinel-1 (компьютерная графика)  
(<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-1>)

Информация с КА Sentinel-1 используется для наблюдения морской ледовой обстановки, мониторинга морской судовой активности, исследования состояния морской поверхности, мониторинга движения замены поверхности, а также картографирования в поддержку гуманитарных задачи в кризисных ситуациях.

Космический аппарат Sentinel-1A(B) построен на платформе PRIMA (Piattaforma Italiana Multi Applicativa, TAS-I) с использованием опыта миссий COSMO-SkyMed и RADARSAT-2. Запущен в 2014 г. (2016) и размещён на солнечно-синхронной орбите высотой порядка 700 км, изомаршрутным циклом 12 сут для обеспечения режима мультивитковой интерферометрии. С учётом полосы обзора, составляющей 250 км, и разрешения 5×20 м за время изомаршрутного цикла может быть достигнуто квазиглобальное покрытие данными миссии подстилающей поверхности. При полосе 80 км, пространственное разрешение составит 5×5 м. Космические аппараты Sentinel-1A и B разнесены по орбите на 180°.

Спутник Sentinel-1 весит 2300 кг, общая мощность — 4,8 кВт. Точность определения местоположения КА на орбите составляет около 10 м, точность ориентации — 0,01° по каждой оси. КА оснащены радиолинией X-диапазона с пропускной способностью 520 Мбит/с. В дополнение к радиолинии на КА установлена оптическая линия связи для передачи информации через геостационарный аппарат EDRS (European Data Relay Satellite) Европейского космического агентства. Срок активного существования КА составляет 7 лет.

### 11.2.1.2. Космический аппарат Sentinel-3

Миссия Sentinel-3 направлена на выполнение океанографических задач и подразумевает одновременную работу двух космических аппаратов (рисунок 11.8).

Основной целью миссии Sentinel-3 является обеспечение потребителей океанографическими данными на постоянной, долговременной и непрерывной основе с неизменным уровнем качества и очень высоким уровнем доступности. В дополнение, миссия подразумевает получение продуктов мониторинга поверхности суши в оптическом диапазоне, топографии льдов, вегетации и получения гидрологических продуктов ([http://m.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-3/Sentinel-3B\\_launch\\_preparations\\_in\\_full\\_swing](http://m.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3/Sentinel-3B_launch_preparations_in_full_swing)).



**Рисунок 11.8.** Рендер внешнего вида КА Sentinel-3 (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>; <http://m.esa.int/spaceinimages/Images/2016/01/Sentinel-3>)

Миссия Sentinel-3 является комплексной, что подразумевает несколько концепций функционирования с учётом следующих требований.

Sentinel-3 предполагает получение данных по цвету океана и поверхности суши, без солнечных бликов, с учётом времени повторного наблюдения не более 4 дней (необходимо стремиться к показателю 2 дня) и с качеством не худшим, чем у данных комплекса MERIS КА ENVISAT. Большой показатель времени повторного наблюдения на экваторе (худший случай) должен составлять не более 3,8 дней с одним аппаратом и резко уменьшаться до 1,9 дней при условии двух аппаратов в группировке разнесённых в плоскости орбиты на  $180^\circ$ .

Температура поверхности океана и суши должна быть получена, по крайней мере, с уровнем качества не меньшим, чем соответствующие продукты комплекса AATSR КА ENVISAT и время повторного наблюдения должно составлять от 1 до 4 дней, в зависимости от режима работы комплекса.

Данные по топографии поверхности должны покрывать всю поверхность океана глобально и обеспечивать точность восстановления высоты морской поверхности SSH (Sea Surface Height) и значимой высоты морской поверхности SWH (Significant Wave Height) не хуже, чем точность функционирования комплекса RA-2 КА ENVISAT. Кроме того, КА Sentinel-3 должны обеспечивать измерения уклонов поверхности в качестве последователя миссии CryoSat-2 над регионами покрытыми льдом для заранее выбранных витков КА, а также измерения высоты уровня внутренних водоёмов.

Масса космического аппарата миссии Sentinel-3 составляет 1150 кг, общая вырабатываемая мощность 2,3 кВт, при площади солнечных панелей (GaAs) —  $10,5 \text{ м}^2$ . Номинальный срок активного существования 7,5 лет, при дополнительном запасе топлива ещё на 5 лет работы. Космический аппарат Sentinel-3A(B) был запущен в 2016 г. (2018) на солнечно синхронную орбиту (10:00), высота 815 км и наклонение  $98,6^\circ$ . КА Sentinel-3A и Sentinel-3B разведены по орбите на  $140^\circ$  для улучшения покрытия регионов альтиметрическими данными (4–7 сут).

На борту КА в качестве полезной нагрузки размещены три основных комплекса: оптические комплексы с широкой и средней полосой обзора, а также спутниковый альтиметр.

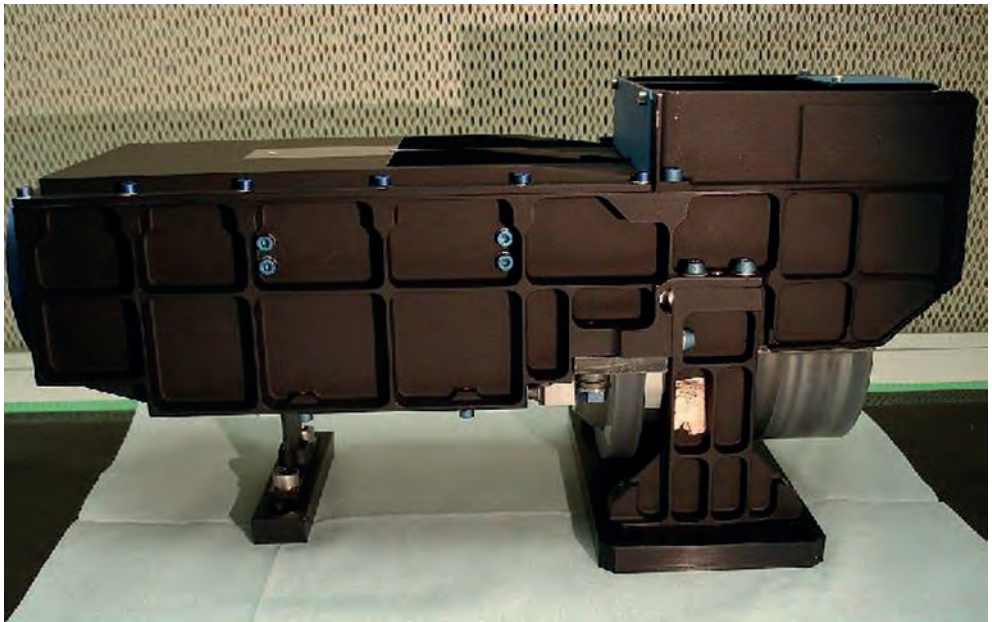
Комплекс мониторинга цвета океана и суши OLCI (Ocean and Land Color Instrument) базируется на технологиях и опыте использования спектрометра среднего разрешения MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) КА ENVISAT, но имеет большее число спектральных каналов (22 против 15), а также использует технологию уменьшения солнечных бликов.

Комплекс мониторинга температуры поверхности океана и суши SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Instrument) использует «двухпроекционную» технологию и имеет 9 спектральных каналов (плюс дополнительные два для мониторинга пожарной обстановки), включая специализированные для обеспечения улучшенной атмосферной коррекции. Пространственное разрешение каналов видимого диапазона составляет 0,5 км (1 км для инфракрасных каналов), полоса обзора 1420 и 750 км (в «двухпроекционном» режиме).

Радарный альтиметр с синтезированной апертурой SRAL (SAR Radar Altimeter) функционирует в традиционном режиме спутникового альтиметра аналогично комплексу Poseidon-3 (КА Jason-2), а также в улучшенном режиме синтезированной апертуры над регионами океана покрытыми льдом, а также прибрежными регионами и внутренними водоёмами (аналогично RA-2 КА ENVISAT). Сенсор SRAL построен с учётом технологий и опыта разработки и эксплуатации альтиметрических комплексов Poseidon-3 и SIRAL (КА CRYOSAT-2) (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cryosat-2>). SRAL предназначен для получения измерений высоты поверхности океана и толщины льда, при условии возможности функционирования в прибрежных регионах и внутренних водоёмах.

#### **Комплекс мониторинга цвета океана и суши (OLCI)**

Комплекс OLCI (рисунок 11.9) представляет собой видеоспектрометр, основанный на технологиях комплекса MERIS с несколько модифицированной геометрией съёмки: поле зрения комплекса смещено на запад ( $\sim 12^\circ$  от солнца) для минимизирования эффекта солнечной засветки над океанами и увеличенной эффективной полосой обзора (1300 км, при поле зрения  $68,6^\circ$ ). Пространственное разрешение в надир составляет 0,3 км. Масса комплекса составляет 150 кг, потребление 124 Вт. Разработчик и производитель — «TAS-E». Радиометрическая точность менее 2 % на солнце (0,1 % — стабильность радиометрической точности для каждого витка КА и 0,5% — относительная точность по внутренней калибровке) (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>).



**Рисунок 11.9.** Инженерная модель OLCI (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>)

Поле зрения комплекса поделено между пятью камерами на общем основании с калибровочной сборкой. Каждая камера имеет оптическую сетку для обеспечения минимальной базовой линии 16 спектральных каналов, требующихся для выполнения задач, с потенциалом для опционных каналов необходимых для улучшенной атмосферной коррекции (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>).

Спектральные каналы комплекса оптимизированы для измерения цвета океана в открытых акваториях и прибрежных зонах. Новый канал 1,02 мкм введён для улучшения учёта влияния атмосферы и аэрозоля. Два дополнительных канала в полосе поглощения  $O_2A$  (764,4 и 767,5 нм, в дополнении к 761,25 нм) включены для улучшения восстановления высоты верхней границы облаков и дополнительный канал 940 нм в полосе поглощения  $H_2O$  — для улучшения восстановления концентрации водяного пара. Канал 673 нм введён для повышения

точности измерений флюоресценции хлорофилла (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>).

### ***Радиометр получения температуры подстилающей поверхности (SLSTR)***

Радиометр SLSTR является переработанной и улучшенной версией радиометра AASTR, стоявшем на борту КА ENVISAT, имеющий более широкую полосу обзора, полностью перекрывающуюся с полосой OLCI для получения уточнённых вегетационных продуктов. Радиометр предназначен для получения информации о температуре поверхности океана и подстилающей поверхности суши. В отличие от AASTR SLSTR имеет двойную систему сканирования, позволяющую получить более широкую полосу обзора (Carro et al., 2010; Carro et al., 2010). Радиометр создавался по заказу компании "Selex Galileo of Finmeccanica" консорциумом исполнителей во главе с TAS.

Принцип построения прибора подразумевает реализацию «двухпроекционной» схемы измерений, аналогичную реализованной на AASTR, но с определёнными и значительными отличиями. Увеличенная полоса обзора (1400 и 700 км) в надирном и наклонном варианте измерений позволяет получать температуру подстилающей поверхности в глобальном режиме со временем повторного наблюдения не превышающим 1 сут, что востребовано в задачах климатологии и метеорологии. При этом обеспечивается пространственное разрешение не хуже 1 км.

Улучшенный процесс маскирования облачности и создание прочих атмосферных продуктов возможны с учётом улучшенного пространственного разрешения (0,5 км) видимых каналов и каналов ближнего ИК, а также дополнительных каналов 1,375 и 2,25 мкм (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>).

Две полосы обзора формируются двумя телескопами и сканирующим зеркалом, которые оптически скомбинированы посредством «переключающего» зеркала на входе в общую сборку фокальной плоскости. Одиннадцать спектральных каналов (3 VIS, 3 SWIR, 2 MWIR, 3 TIR) разделены в рамках сборки фокальной плоскости при помощи набора дихроиков. Оптические детекторы SWIR, MWIR и TIR каналов охлаждаются до температуры 80 К активной системой криоохлаждения, тогда как детекторы видимого диапазона функционируют при стабильных нормальных температурах (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>).

Общая масса радиометра SLSTR составляет 150 кг, полоса обзора — 740 или 1400 км в зависимости от режима съёмки, пространственное разрешение — от 0,5 до 1 км в различных спектральных каналах. Радиометрическая точность заявлена менее 2 % (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>).

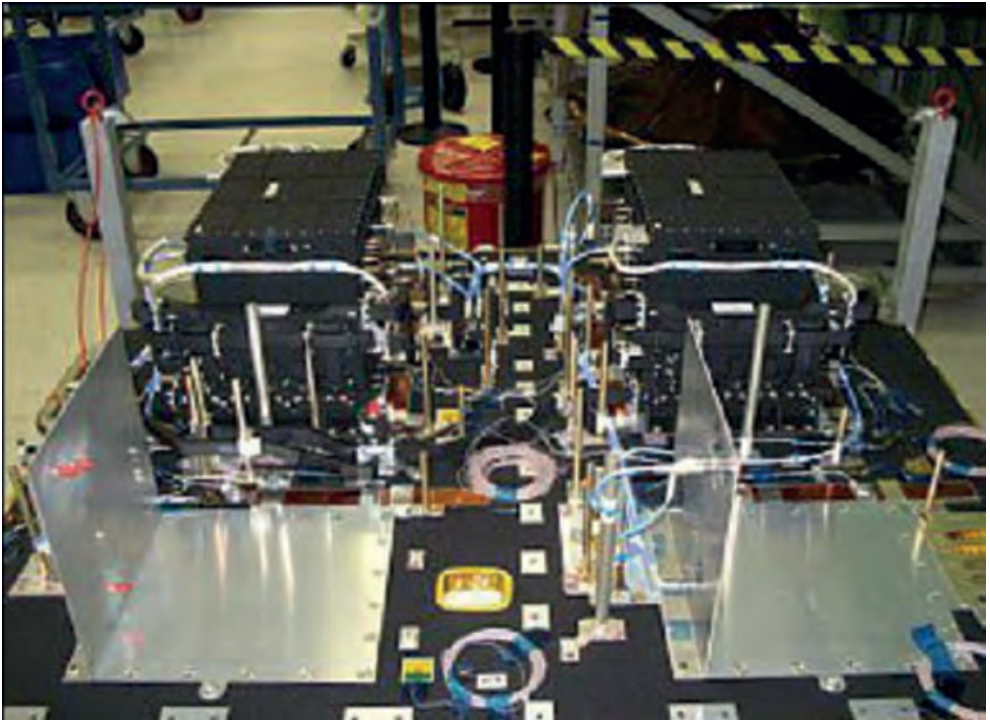
### ***Радарный альтиметр с синтезированной апертурой (SRAL)***

Сенсор SRAL (SAR Radar Altimeter) представляет собой двухчастотный (диапазоны C и Ku), измеряющий в надири, спутниковый альтиметр, который является ключевым для топографической полезной нагрузки КА (рисунко 11.10). Прибор осуществляет измерение базовых значений высоты морской поверхности, значимой высоты волны и скорости приводного ветра. SRAL в основном базируется на и технологиях и опыте, полученном при проектировании Poseidon-3 КА Jason-2, запущенного в 2008 г., альтиметра SIRAL КА CRYOSAT-2 (2010) и миссии SARAL (2012). SRAL разработан в "TAS-F" (Mavrocordatos et al., 2007; Varchetta et al., 2007).

Передатчик в альтиметре использует линейно-частотно-модулированный импульс. Основная частота для осуществления измерений морской поверхности 13,575 ГГц (ширина полосы 350 МГц), тогда как частота C-диапазона (5,41 ГГц, полоса 320 МГц) используется для измерений величины ионосферной поправки.

Альтиметр может функционировать в традиционном импульсном режиме или в режиме синтезированной апертуры, причём в первом случае частота повторения импульсов составляет 1,9 кГц, тогда как во втором — 17,8 кГц. Общая погрешность измерений (приборная) составляет 3 см, масса альтиметра 60 кг.

Сенсор SRAL реализует, как уже было сказано выше, два режима работы: традиционный LRM (Low Resolution Mode) и режим синтезирования апертуры (SAR). Второй режим предназначен для уменьшения площади поверхности, отражающей сигнал на антенну прибора, что позволит улучшить пространственное разрешение и точность измерений над поверхностями со сложной топографией (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>).



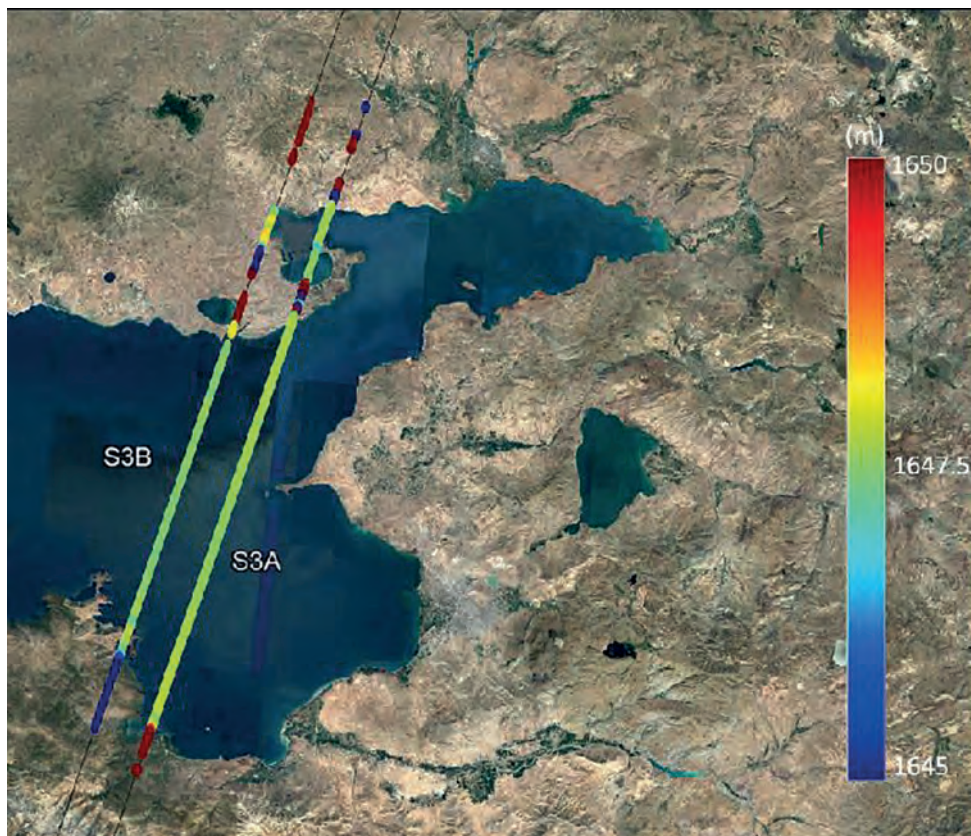
**Рисунок 11.10.** Сборка альтиметра SRAL (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-3>)

В режиме синтезирования апертуры предусмотрено два следящих алгоритма: с открытой и закрытой «петлёй». В алгоритме с закрытой «петлёй» альтиметр использует исключительно внутренние средства для определения дальности и усиления, а также последующей обработки сигналов. В алгоритме с открытой «петлёй» предполагается априорное знание высоты поверхности из существующих цифровых моделей рельефа.

Алгоритм с открытой «петлёй» используется вместо традиционного алгоритма с закрытой «петлёй» над некоторыми регионами с существенно неоднородной топографией. Указанный алгоритм предполагает использование специального набора команд, который уже заложен в блоке управления прибором и активируется в соответствии с измеренными координатами КА на орбите. Основное преимущество этого алгоритма состоит в том, что измерения проводимые альтиметром, будут непрерывными, не будут содержать разрывов, что типично в случае применения традиционного алгоритма, который имеет определённые проблемы при обработке сигнала над регионами с быстроменяющейся топографией, например, при переходе от водных поверхностей на сушу.

Общая схема применения режимов работы SRAL и алгоритмов обработки состоит в следующем: над открытым океаном используется режим LRM с алгоритмом закрытой «петли», в прибрежных регионах — режим SAR с алгоритмом открытой «петли». Над регионами, покрытыми льдом — режим SAR с алгоритмом закрытой «петли», для определения границ льда, а также над внутренними водоёмами — SAR с алгоритмом открытой «петли».

Иллюстрация режимов работы альтиметра над регионом со сложной топографией представлена на рисунке 11.11.



**Рисунок 11.11.** Изображение двух подспутниковых треков измерений альтиметров: Sentinel-3A от 26.04.2018 и Sentinel-3B от 09.05.2018 ([http://m.esa.int/spaceinimages/Images/2018/05/Lake\\_Van\\_water\\_height\\_from\\_Sentinel-3B](http://m.esa.int/spaceinimages/Images/2018/05/Lake_Van_water_height_from_Sentinel-3B))

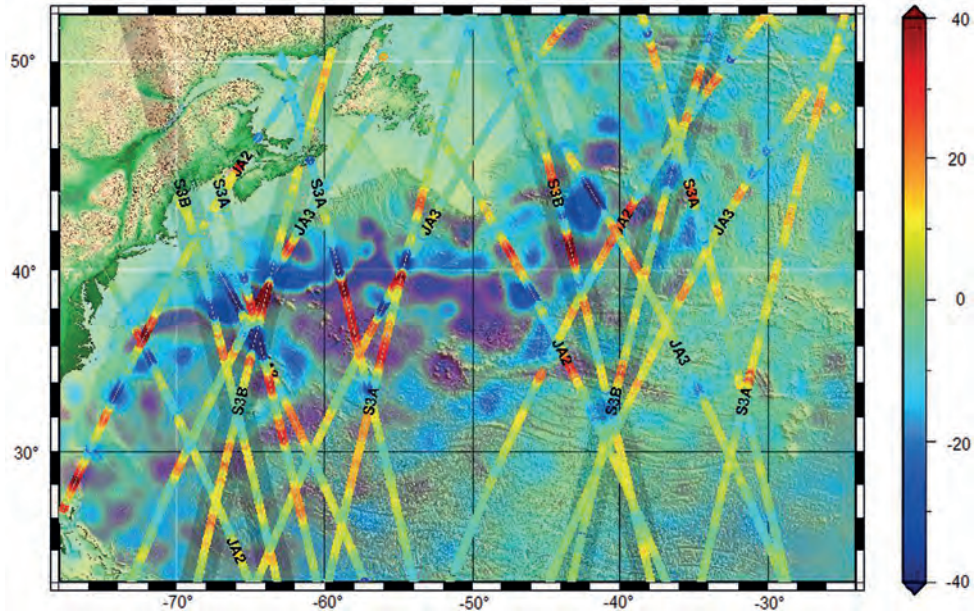
Действительно, анализируя изображение видно, что внедрение нового режима работы позволяет существенно уточнить измерения над внутренними водоёмами и в акваториях с «мелкой» водой. В подобных регионах ранее, в принципе, предполагалась отбраковка измерений в случае использования альтиметров TOPEX/Poseidon и даже Poseidon-2 (Benada, 1993). Кроме того, повышение пространственного разрешения позволяет получать отклик исключительно от акватории реки, поскольку ранее при размере пятна альтиметра на поверхности в 2...25 км при попытках измерения уровня рек (кроме крупных акваторий) неизбежно терялась часть полезного сигнала.

В результате приведённых на рисунке 11.9 измерений видно, что высота озера Ван (Турция) составляет 1647 м над уровнем моря, кроме того, чётко виден переход от земной к водной поверхности ([http://m.esa.int/spaceinimages/Images/2018/05/Lake\\_Van\\_water\\_height\\_from\\_Sentinel-3B](http://m.esa.int/spaceinimages/Images/2018/05/Lake_Van_water_height_from_Sentinel-3B)).

Необходимо отметить ещё один важный аспект при применении информации современных спутниковых альтиметров, особенно при восстановлении мезомасштабной изменчивости высоты морской поверхности. Дело в том, что в силу традиционной схемы измерений существующих на сегодняшний день спутниковых альтиметров максимальное покрытие данными любой акватории достигается за время изомаршрутного цикла соответствующего КА (10/35 сут).

С учётом того, что измерения высоты доступны исключительно в подспутниковых точках вдоль направления движения КА для восстановления пространственного распределения высот морской поверхности требуется применение различных методик обработки данных (Куницын, Романов, 2004). При этом карта поверхности отображает некую усреднённую ситуацию за время изомаршрутного цикла.





**Рисунок 11.12.** Измерения аномалий высоты морской поверхности (см) четырёх альтиметрических аппаратов (Jason-2 (JA2), Jason-3 (JA3), а также Sentinel-3A (S3A) и Sentinel-3B (S3B)) для региона Атлантического океана на 08.05.2018 ([https://www.eumetsat.int/website/home/News/DAT\\_3913829.html](https://www.eumetsat.int/website/home/News/DAT_3913829.html))

Для уменьшения временного разрешения карт высот морской поверхности используют комбинацию измерений с различных спутниковых альтиметров (Куницын, Романов, 2004). Необходимо отметить, что на заре эры высотометров совмещение измерений с нескольких приборов было малоэффективным с учётом огромной разницы в инструментальной погрешности приборов, например, ERS-1/2 и TOPEX/Poseidon (Le Traon et al., 1994). Для решения этой проблемы использовалась специальная методика, основанная на анализе разницы высот измерений, в так называемых точках пересечения треков или «кроссоверах», т.е. таких точках, в которых измерение высоты поверхности было выполнено разными приборами в течение одних суток, при этом предполагалось, естественно, что состояние морской поверхности оставалось неизменным (Le Traon et al., 1994).

При планировании миссий, последующих сверх успешной миссии TOPEX/Poseidon, Jason-1/2 специально планировались, так называемые, тандемные миссии КА, для проведения процедур кросс калибровок спутниковых альтиметров и получения взаимных поправок (Chang-Kou Tai, 2009) для уменьшения разницы высот в «кроссоверах».

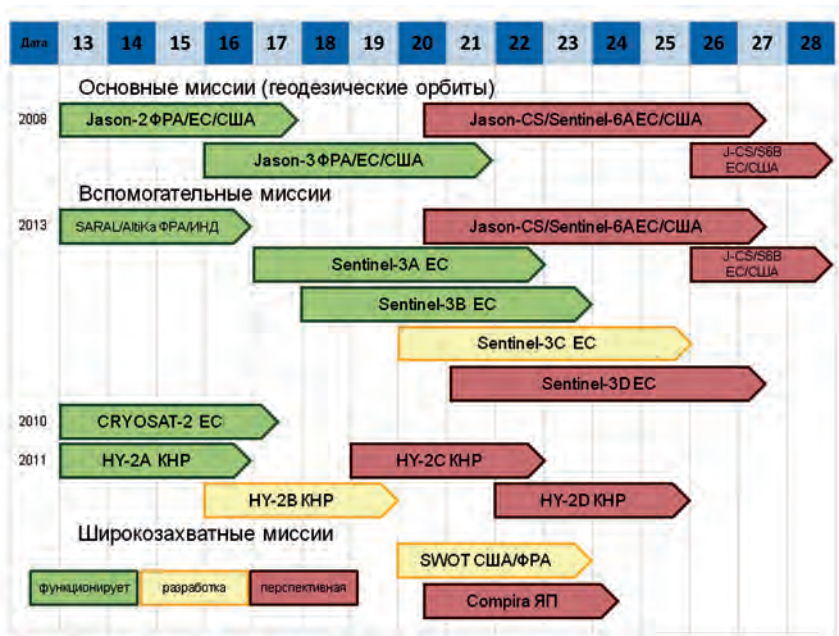
На сегодняшний день доступно минимум четыре космических аппарата с альтиметрами на борту для проведения одновременных исследований состояния морской поверхности. Одновременное использование информации с КА Jason-2/3, а также Sentinel-3A и Sentinel-3B позволяет покрыть практически любую акваторию мирового океана данными в достаточном количестве для восстановления пространственного распределения высот морской поверхности за период в одни сутки (рисунок 11.12).

Кроме того, инструментальные погрешности приборов настолько невелики, что анализ высот в «кроссоверах» показывают практически полное совпадение информации различных приборов при диапазоне изменения высот от  $-40$  до  $+40$  см.

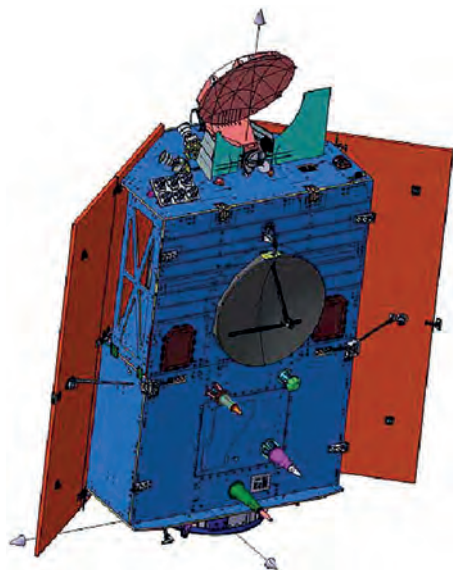
### 11.2.1.3. Альтиметрический космический комплекс Jason-CS/Sentinel-6

В разделе про космическую миссию Sentinel-3 мы уже рассмотрели одну из существующих на данный момент концепций реализации альтиметра на базе принципов синтеза апертуры. Кроме того, рассматривались вопросы совместной обработки информации с разных альтиметрических аппаратов для повышения временного разрешения восстанавливаемых распределений морской поверхности.

В настоящем разделе представлено описание перспективной миссии Sentinel-6 которая планируется одновременно, и как продолжение миссий TOPEX/Poseidon, и Jason-1/2/3. На временном промежутке от 2020 до 2030 г. и далее миссия Sentinel-6 продлит уникальный ряд измерений полученных вышеупомянутыми альтиметрическими комплексами. Предполагается, что миссия Jason-CS/Sentinel-6 будет содержать, как минимум, два космических аппарата со сроком активного существования 7 лет (5 основных + 2 резервных года), что даст время на доведение технологий интерферометрической альтиметрии до практической реализации с запуском КА SWOT (<http://swot.jpl.nasa.gov/>; [http://swot.jpl.nasa.gov/files/SWOT\\_science\\_reqs\\_final.pdf](http://swot.jpl.nasa.gov/files/SWOT_science_reqs_final.pdf)). Запуск КА Jason-CS A и Jason-CS B запланирован на 2020 и 2026 гг., соответственно.



**Рисунок 11.13.** Обзор текущих и перспективных альтиметрических миссий (<ftp://ftp-oceans.jpl.nasa.gov/pub/llf/WSOAreportFinal2.pdf>)



**Рисунок 11.14.** Модель КА Jason-CS/Sentinel-6 (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/j/jason-cs>)

Космический аппарат Jason-CS будет иметь на борту радарный альтиметр для продолжения высокоточных альтиметрических измерений на орбитах с относительно низким наклоном, аналогичным КА Jason-2/3. Они дополняют альтиметрические измерения от КА с орбитами, имеющими высокое наклонение (Sentinel-3) для получения высокоточных пространственных распределений морской поверхности в интересах различных потребителей. Текущий статус и планы по развитию альтиметрических миссий представлены на рисунке 11.13 (<ftp://ftp-oceans.jpl.nasa.gov/pub/llf/WSOAreportFinal2.pdf>).

Космические аппараты Jason-CS/Sentinel-6 (рисунок 11.14) предполагается строить на платформе, базирующейся на элементах платформы КА Cryosat-2 с учётом необходимости доведения последней для удовлетворения новым требованиям альтиметрической миссии. Полная масса космических аппаратов составит 1362 кг. На борту перспективных КА, как основной прибор миссии, будет размещён спутниковый альтиметр Poseidon-4.

#### *Радарный альтиметр с синтезированной апертурой Poseidon-4*

Аналогично альтиметру SRAL альтиметрический комплекс Poseidon-4 представляет собой двухчастотный альтиметр, функционирующий в C и Ku диапазонах спектра. У него будет возможность обрабатывать когерентные измерения, отражённые от поверхности для синтеза апертуры измерений, что позволит повысить пространственное разрешение и уменьшить шумы при восстановлении высоты морской поверхности и значений значимой высоты волны.

Принципиальным отличием Poseidon-4 от альтиметра SRAL, которое прорабатывается в настоящее время разработчиками альтиметра, будет принципиальная возможность его функционирования одновременно и в традиционном импульсном и режиме синтеза апертуры. Подобный новый режим работы получил название ILM (Interleaved Mode) и позволит продолжить как ряд традиционных альтиметрических измерений (LRM), так и одновременно получить информацию от режима с синтезированной апертурой с меньшими ошибками измерений (SAR).

Данные в режиме LRM получаются из единственной посылки, что позволяет восстановить геофизические параметры (уклоны, скорость ветра, и значимую высоту волны) над отдельными подспутниковыми точками размером от 1 до 5 км. Однако следует отметить, что площадь с которой приходит отклик от импульса альтиметра зависит не только от высоты альтиметра над поверхностью и длины волны импульса, но и от величины значимой высоты волны (без ощутимого волнения размер пятна отклика альтиметра Poseidon-2 КА Jason-1/2 составляет 2 км, при высоте волн 15 м – 12 км).

Применение режима SAR позволяет добиться разрешения по направлению вдоль направления движения космического аппарата не превышающее 300 м вне зависимости от значимой величины волны (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/j/jason-cs>).

### 11.2.3. АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС SWOT

Комплекс SWOT (рисунок 11.15) это космическая альтиметрическая миссия подразумевающая проведение измерений в некоторой полосе обзора, а не только в подспутниковых точках. Впервые миссия SWOT была рекомендована Национальным исследовательским Советом США к реализации в 2007 г. в рамках десятилетней программы «Наука о Земле и её приложения из космоса: национальные распоряжения на следующее десятилетие и далее» для реализации NASA (<http://swot.jpl.nasa.gov/>; [http://swot.jpl.nasa.gov/files/SWOT\\_science\\_reqs\\_final.pdf](http://swot.jpl.nasa.gov/files/SWOT_science_reqs_final.pdf)). Наименование SWOT миссия получила в 2008 г., а до этого она называлась WATER HM (Water And Terrestrial Elevation Recovery Hydrosphere Mapper).

Основная цель миссии SWOT состоит, в основном, в удовлетворении потребностей исследователей гидрологии и водных ресурсов в части исследований глобальных измерений запасов континентальной воды изменений и стоков, что критично для моделей климатических циклов и как часть вклада в фундаментальное понимание функционирования системы Земля (Alsdorf et al., 2003).

Основной океанографической задачей миссии SWOT является проведение исследований мезо- и субмезомасштабной изменчивости океана (структур с характерным размером 10 км и более) (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swot>).

В части гидрологических исследований предполагается обеспечить глобальную инвентаризацию всех внутренних поверхностных водоёмов с площадью, превышающей 250 м<sup>2</sup> (озёра, водохранилища, заболоченные территории), и рек шириной 100 м (в пределе — 50 м). Оценить изменение глобального водного запаса внутренних водоёмов (для искусственных водохранилищ — общего водного запаса), а также изменений стоков рек на субмесячном, сезонном и годовом временных масштабах.

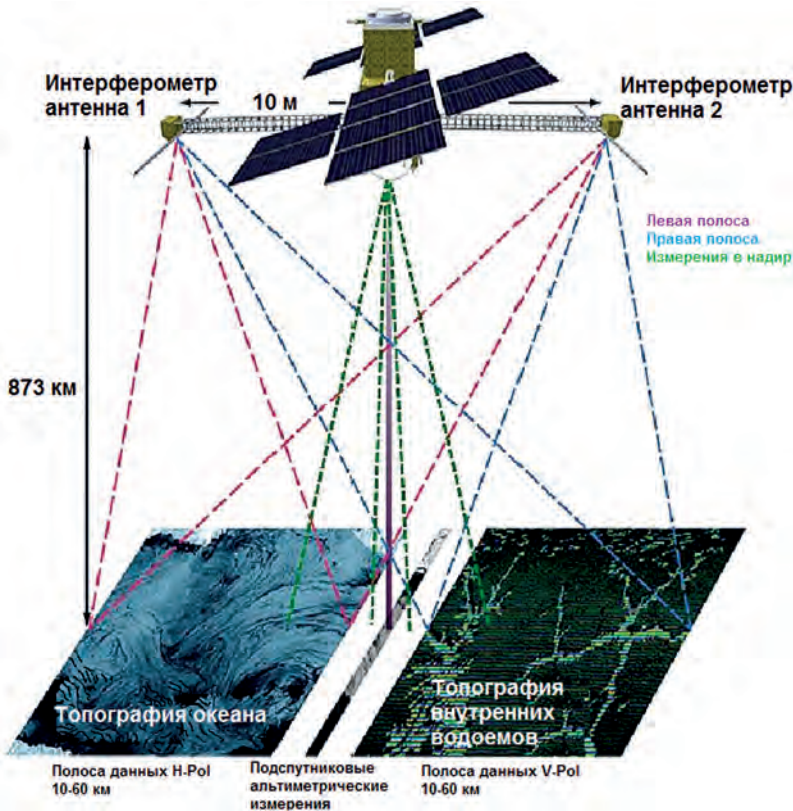


**Рисунок 11.15.** Рендер внешнего вида КА SWOT (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swot>)

Концепция функционирования SWOT представлена на рисунке 11.16. КА SWOT измеряет расстояние между антенной и подстилающей поверхностью при помощи альтиметра (схожему с КА Poseidon-2), который смотрит в надир, учитывая вспомогательные измерения концентрации водяного пара, получаемые с микроволнового радиометра.

Эти измерения сопровождаются дополнительной альтиметрической съёмкой, сделанной в двух полосах альтиметром KaRIn. Земная дальномерная система, система DORIS, а также глобальные навигационные спутниковые системы обеспечивают информацией для точного определения высоты орбиты КА и последующего расчёта высоты морской поверхности. Для гидрологических приложений (определения уровня внутренних рек/водоёмов и пр.) применяется похожая схема измерений за исключением использования информации традиционного альтиметра вследствие недостаточной точности его измерений в этих условиях. SWOT будет обеспечивать пространственное разрешение 1 км над океаном (после проведения обработки информации на борту) и 50 м для внутренних водоёмов, с сантиметровой точностью определения высоты (~3 см для поверхности океана и 10 см для внутренних водоёмов) (Neeck et al., 2012).

Предполагается, что КА SWOT будет запущен на орбиту с параметрами, обеспечивающими время повторного наблюдения подстилающей поверхности не более одной недели. В 2018 г. TAS-F выпустил пресс-релиз, подтверждающий успешное завершение фазы CDR (critical design review) космического аппарата (<https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/press-release/thales-alenia-space-takes-major-steps-forward-production-swot>).



**Рисунок 11.16.** Концепция функционирования КА SWOT (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swot>; Neeck et al., 2012)

#### Радарный интерферометр KaRIn

Основным инструментом космической миссии SWOT является бистатическая SAR система KaRIn. Этот комплекс является интерферометрическим альтиметром, который позволяет получать информацию о высоте морской поверхности в полосе обзора 100 км (две полосы по 50 км). Концепция его функционирования предполагает использование двух антенн с базовой линией 10 м смотрящих в надир для измерения высоты подстилающей поверхности с сантиметровой точностью (Esteban-Fernandez et al., 2010; Mallet et al., 2009).

Технологии, используемые для создания KaRIn, были отработаны на широком спектре альтиметров и космических аппаратов: от ERS-2 до Jason-2. Первые интерферометрические съёмки высоты морской поверхности в X диапазоне проводились одной из миссий космических шаттлов в феврале 2011 г. прибором SRTM, при этом использовали углы падения зондирующего сигнала от 30 до 60°. Переход в Ka-диапазон и на углы 1...3° позволили получать отклики от любой водной поверхности. Кроме того, в 2005 г. рассматривалась возможность оснащения КА Jason-2 альтиметром WSOA (Wide Swath Ocean Altimeter). Предполагалось, что этот альтиметр позволит получать информацию о высоте морской поверхности с пространственным разрешением 10 км и в полосе 200 км. Однако в процессе выполнения проекта возникли сомнения в возможности его своевременной реализации и, соответственно, появления рисков перерасходования средств при создании КА. Как следствие, завершение проекта было отложено (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swot>).

Интерферометр KaRIn предположительно будет иметь массу ~294 кг, среднее энергопотребление за виток ~ 810 Вт, средний информационный поток над поверхностью суши ~271 Мбит/с, над морем 3 Мбит/с с учётом применения технологий обработки данных на борту. Размер комплекса составит 3,0×2,8×2,8 м в сложенном виде и 5×10,6×1,5 м в развернутой конфигурации (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swot>).

Рабочая частота составит 35,75 ГГц, максимальная передаваемая мощность 1500 Вт. Размер антенн 5×0,25 м, угол падения сигнала в диапазоне от 0,4 до 4,1° в каждую сторону. Поляризация правой полосы обзора VV, левой — HH, соответственно (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/swot>).

## 11.3. КОСМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОЛЁНОСТИ ОКЕАНА

### 11.3.1. КОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС SMOS

Впервые эксперимент по дистанционному определению солёности океана был реализован в 1973 году при помощи радиометра L-диапазона, размещённого на борту SkyLab (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smos>). Следующей попыткой реализации концепции успешно проведённого эксперимента оказался КА SMOS, который был запущен в 2009 г.

Комплекс SMOS — космическая миссия в рамках научной подпрограммы «Исследование возможности» (Explorer Opportunity) программы ЕКА «Живая планета», технологический демонстратор, созданный в кооперации Французским космическим агентством и центром технологических и промышленных разработок CDTI (Center for Technological and Industrial Development), Испания (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smos>).



**Рисунок 11.17.** Внешний вид КА SMOS (компьютерная графика) (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smos>)

Основная научная цель миссии SMOS продемонстрировать измерения солёности над океанами и влажности почв над сушей для продвижения климатологических, метеорологических, гидрологических, океанографических приложений. Знание о глобальном распределении солёности в океане и её годовой и межгодовой изменчивости очень важно для понимания механизма взаимодействия океан – атмосфера в рамках климатических моделей и систем прогнозирования. Океаническая циркуляция, в основном, определяется моментом и тепловыми

потоками через интерфейс взаимодействия океан – атмосфера, зависит от градиентов плотности, которые могут отслеживаться по измерениям солёности и температуры (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smos>).

В дополнении к SMOS NASA был создан радиометр L-диапазона Aquarius, который был размещён на космическом аппарате SAC-D, запущенном в 2011 г. Радиометр Aquarius обеспечивал измерение солёности с разрешением 100 км, обеспечивая лучшую чувствительность, чем SMOS, в силу определённых различий в дизайне аппаратуры. Глобальное покрытие всей поверхности мирового океана достигалось за 8 сут. К сожалению, в 2015 г. космический аппарат SAC-D завершил своё функционирование.

Космический аппарат SMOS построен на платформе Proteus совместно CNES и Alcatel (рисунок 11.17). Общая масса КА составляет 659 кг (масса платформы 275 кг). Срок активного существования должен был составить 3 года с возможностью продления до 5 лет.

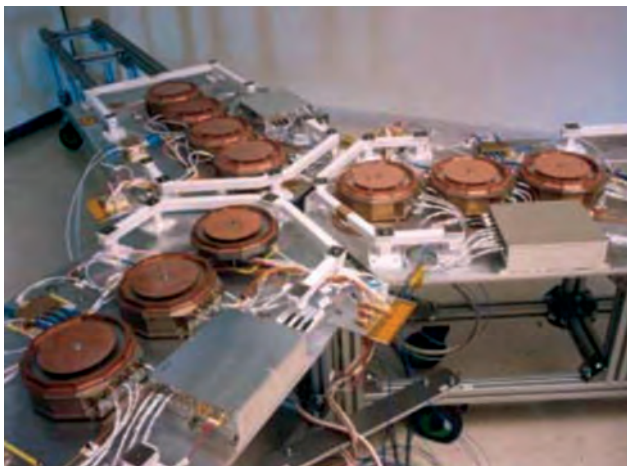
Общая энерговооружённость КА составляет 1065 Вт, для полезной нагрузки доступно 511 Вт. Для передачи информации используется радиопередача X-диапазона со скоростью потока 18,4 Мбит/с.

КА SMOS был запущен на солнечно синхронную полярную орбиту высотой 755 км, наклоном  $98,44^\circ$  и периодом обращения 100 мин. В настоящее время он значительно переработал изначально запланированный ресурс. В сентябре 2017 г. миссия SMOS была продлена минимум до 2019 г. Таким образом, общий срок функционирования КА на орбите составит 10 лет ([http://www.esa.int/About\\_Us/ESA\\_Publications/ESA\\_Publications\\_Bulletin/ESA\\_Bulletin\\_170\\_2nd\\_quarter](http://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/ESA_Publications_Bulletin/ESA_Bulletin_170_2nd_quarter)).

#### ***Микроволновый радиометр с синтезированной апертурой MIRAS***

Сенсор MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis) был разработан компанией EADS-CASA, Испания. Радиометр представляет собой 2-D интерферометр, функционирующий на частоте 1,41 ГГц (L-диапазон) и базирующийся на концепции MIRAS, отработанной в рамках нескольких экспериментов с привлечением авиационной техники. По результатам проведённой отработки прибор для КА SMOS, по аналогии, в 2004 г. также получил наименование MIRAS (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smos>).

Основной задачей MIRAS является получение информации о радиояростной температуре в диапазоне углов падения от  $0$  до  $55^\circ$ , 900 км полосы обзора, с пространственным разрешением от 30 до 50 км. Привлекая дополнительную информацию о температуре поверхности, взволнованности и полном электронном содержании в ионосфере, среди прочих параметров подстилающей поверхности можно восстановить информацию о влажности почвы и солёности океана.

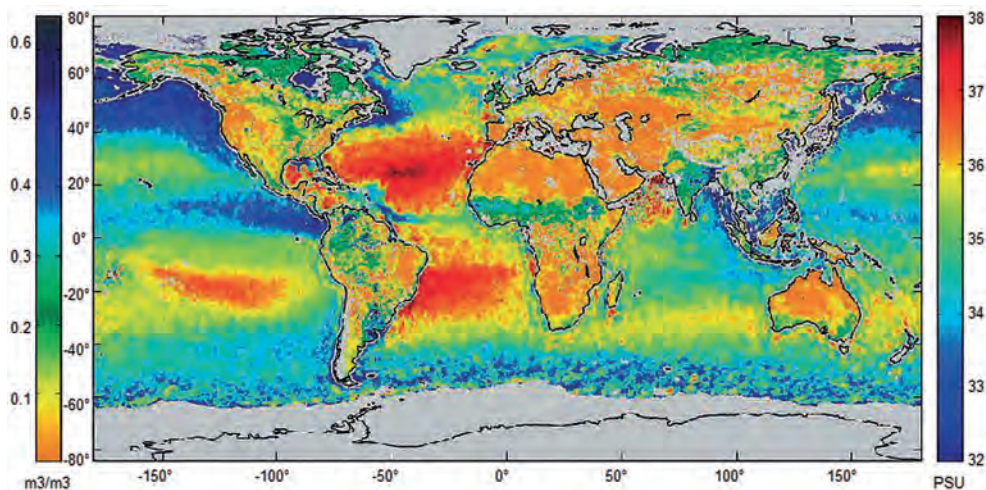


**Рисунок 11.18.** Внешний вид антенной сборки MIRAS в лаборатории в 2006 г. (Martin-Neira et al., 2006)

Антенная система MIRAS (рисунок 11.18) представляет собой трёхплечевую конструкцию с углом между каждыми двумя плечами  $120^\circ$ . Каждое плечо антенны набирается из элементов, представляющих собой приёмники сигнала в диапазоне 1,4...1,427 ГГц. Каждое плечо, кроме того, состоит из трёх раскладываемых сегментов. Общая длина плеча антенны составляет около 4 м.

Всего антенна содержит 69 микроволновых приёмников LICEF (Lightweight Cost-Effective Front-End) которые равномерно распределены по площади антенной системы. Приёмники LICEF изготовлены фирмой MIER (Испания) и включают в себя двухполяризационные антенны и встроенные полосовые фильтры (Martin-Neira et al., 2006).

Масса MIRAS составляет 369 кг, общее энергопотребление — около 370 Вт. Радиометр обеспечивает радиометрическую точность порядка 2 К, при чувствительности в 3 К (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smos>).



**Рисунок 11.19.** Глобальное распределение солёности океана и влажности почвы, полученное при помощи радиометра MIRAS в августе 2015 г. (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smos>)

На рисунке 11.19 приведён пример данных радиометра MIRAS KA SMOS, представлено глобальное распределение солёности океана и влажности почвы, полученное для августа 2015 г.

### 11.3.2. КОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС SMAP

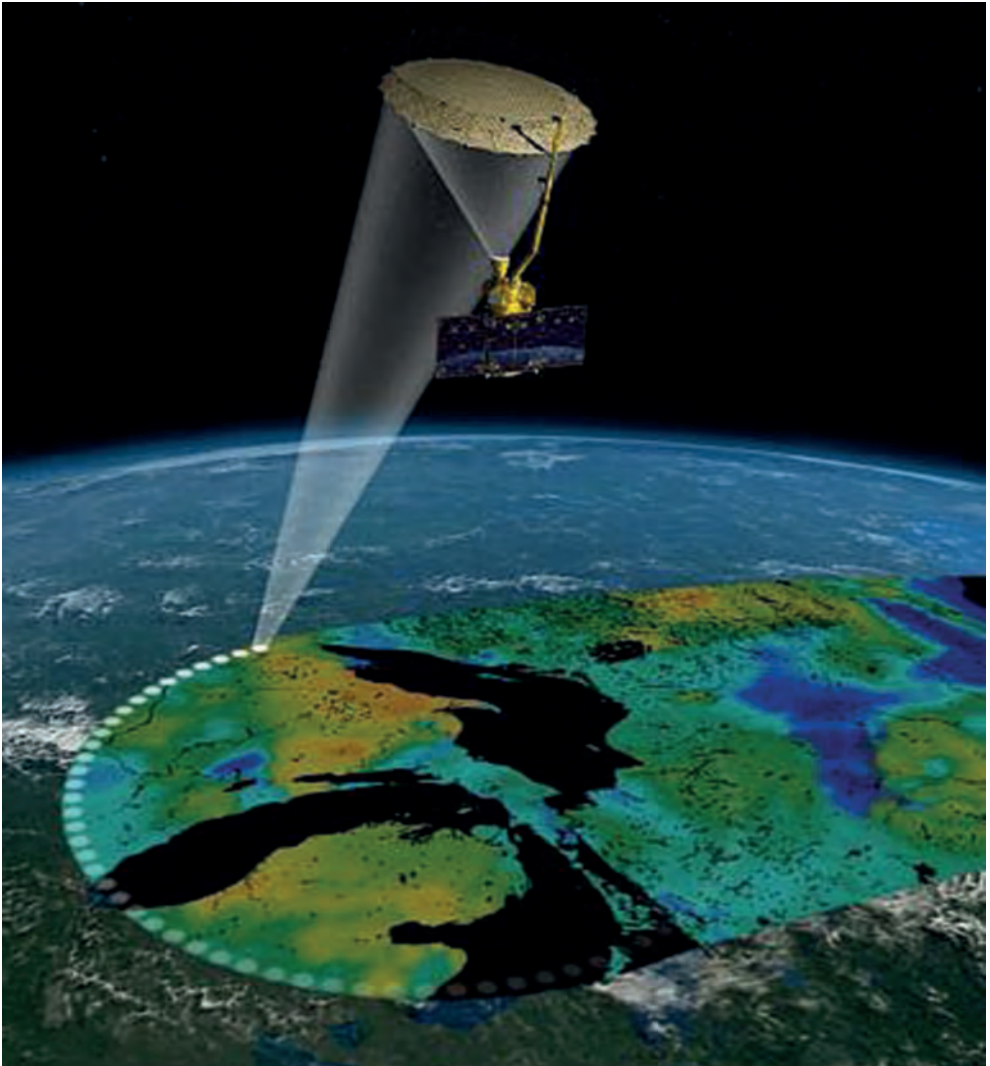
Комплекс SMAP (Soil Moisture Active Passive) является миссией NASA, разработанной в рамках программы ESSP (Earth system science pathfinder). В рамках десятилетней программы «Наука о Земле и её приложения из космоса: национальные распоряжения на следующее десятилетие и далее» для NASA миссия SMAP имеет наивысший приоритет выполнения среди всех остальных, что определило сроки её реализации между 2010 и 2013 г.

Бесспорно, при проектировании SMAP использовался опыт, полученный при разработке SMOS и MIRAS. По аналогии с этим радиометром SMAP измеряет пассивное микроволновое излучение в диапазоне 1,26...1,43 ГГц и имеет разрешение около 40 км, но в отличие от SMOS постоянный угол обзора составляет  $40^\circ$ . При этом стандартное отклонение измерений радиояркостной температуры составляет 4 К (Changjun et al., 2015). Кроме того, SMAP базируется на технологиях проекта Hydros (hydrosphere State) который был закрыт NASA в 2005 г. вследствие бюджетных ограничений (Entekhabi et al., 2011; Johnson, Aksoy, 2011; <http://smap.jpl.nasa.gov/>).

В основном, задачи SMAP связаны с мониторингом влажности почвы, тем не менее, его можно применять и для исследований распределения солёности океана (Blondeau-Patissier et al., 2014).



Концепция миссии SMAP (рисунок 11.20) включает использование радиометра и радара высокого разрешения L-диапазона, которые используют единый облучатель рупорного типа и параболический сеточный рефлектор. Радар функционирует с VV, HH и HV/VH поляризациями на приём/передачу, при этом использует различные частоты для излучения горизонтальной (1,26 ГГц) и вертикальной (1,29 ГГц) поляризации. Радиометр работает с тремя поляризациями (три параметра Стокса) на частоте 1,41 ГГц.



**Рисунок 11.20.** Схема измерений миссии SMAP  
(<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smap>)

Антенный отражатель отклонён от положения в надир и вращается со скоростью 13 об./мин, формируя сканирующий луч с углом падения  $40^\circ$ . Диаметр рефлектора антенны составляет примерно 6 м, обеспечивая разрешение не менее 40 км.

КА SMAP имеет массу 1123 кг (масса платформы 686 кг), полное энергопотребление 1351 Вт.

Космический аппарат был запущен в начале 2015 года на солнечно-синхронную орбиту высотой 695 км, наклонением  $98^\circ$  и периодом обращения 98,5 мин. Полный изомаршрутный цикл повторения наблюдений составлял ровно 8 сут (малый цикл с квазиглобальным покрытием — 3 сут).

**Микроволновый комплекс L-диапазона SMAP**

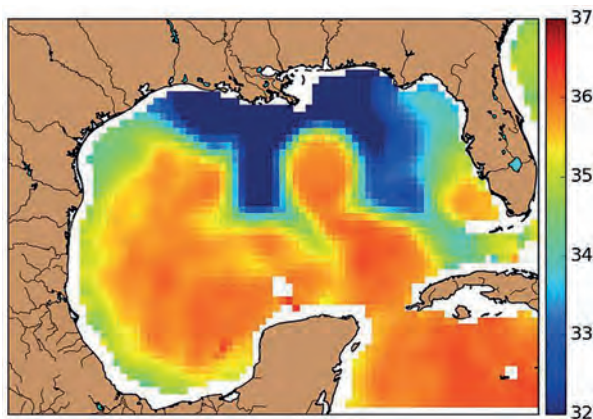
Название полезной нагрузки совпадает с наименованием всего космического аппарата. Ключевыми требованиями при разработке комплекса SMAP были следующие.

1. Пассивный микроволновый радиометр должен измерять излучение в двух поляризациях с пространственным разрешением не хуже 40 км.
2. Микроволновый радар должен работать с тремя поляризациями (HH, VV, HV) в L-диапазоне спектра.
3. Широкая полоса обзора для обеспечения времени обновления информации 1 раз в 3 дня. Для выбранной высоты орбиты 685 км полоса обзора должна составлять 1000 км.
4. Одновременные измерения радиометра и радиолокатора L-диапазонов с постоянным углом падения  $40^\circ$ . С учётом требований по пространственному разрешению для радиометра и радара необходима реализация антенной системы с большой апертурой (Spencer et al., 2009).

Комплекс SMAP состоит из радиометра, радара, антенной системы с системой её вращения и общей структуры. Микроволновый радар имеет массу 56 кг и энергопотребление 287 Вт, радиометр — 40 кг и энергопотребление 65 Вт. Антенная система — 79 кг, поворотная подсистема — 41 кг и 36 Вт. Структура, включая подсистему терморегулирования и проводку, весит 141 кг и потребляет 59 Вт. Общий вес SMAP составляет 356 кг, потребление 448 Вт (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smap>).

Радар L-диапазона имеет пространственное разрешение 3 км за счёт технологии синтеза апертуры, формирует информационный поток 35 Мбит/с. Микроволновый радиометр имеет пространственное разрешение 40 км, точность измерений 1,3 К и формирует информационный поток 4,3 Мбит/с (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smap>).

В качестве иллюстрации применения SMAP для оценки солёности океана можно привести распределение, полученное в Мексиканском заливе в августе 2015 г. (рисунок 11.21).



**Рисунок 11.21.** Распределение солёности океана в Мексиканском заливе по данным SMAP (в единицах pss — practical salinity scale), август 2015 г. (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smap>)

На территории штата Техас (США) 2015 г. произошло крупное наводнение. Объединённая команда исследователей проводила оценку количества пресной воды, попавшей в Мексиканский залив, по данным нескольких космических аппаратов NASA. На представленном рисунке виден достаточно большой «язык» распреснённой воды (синий цвет на изображении). По оценкам специалистов пик стока пресной воды в Мексиканский залив в момент наводнения составил  $1700 \text{ м}^3/\text{с}$  (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/smap>).

## 11.4. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ИНТЕРЕСАХ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ХАРАКТЕРИСТИК ОКЕАНА

Из представленного в предыдущем разделе обзора видно, что за прошедшее время появилось много новых возможностей при проведении исследований параметров океана дистанционными средствами. Принципиально улучшились характеристики и увеличились возможности радиометров и радиолокаторов, появились комплексы для дистанционного мониторинга солёности океана. Кроме того, ожидается появление ряд принципиально новых космических аппаратов, которые откроют принципиально новые возможности для проведения исследований.

Рассмотрим основные аспекты произошедших с момента проведения Эксперимента изменений в характеристиках космических комплексов и проанализируем вновь открывающиеся перспективы. Дальнейший анализ проведём с учётом принципиальных для потребителя характеристик аппаратуры, таких как полоса обзора или точность измерения, оставив в стороне, массу, энергопотребление или информационный поток космических комплексов.

### 11.4.1. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Развитие гидрометеорологических и радиолокационных комплексов, в целом, шло по эволюционному пути. Основные характеристики принципиальные для проведения или планирования эксперимента сведены в таблице 11.1.

**Таблица 11.1.** Основные характеристики аппаратуры дистанционного зондирования (ПР — пространственное разрешение, ПО — полоса обзора)

	Температура поверхности океана		Цвет океана		Радиолокационные изображения поверхности	
	ПР, км	ПО, км	ПР, км	ПО, км	ПР, м	ПО, км
Эксперимент	1	3000	1,1	1500	25	100
Настоящее время и перспективна	0,6...1	1300...3000	0,3	1300	5×20 5×5	250 80

Анализ характеристик показывает, что в настоящее время при планировании эксперимента можно рассчитывать на получение карт температуры морской поверхности с пространственным разрешением не превышающем 0,6 км, но при этом с меньшей полосой обзора, не превышающей 1300 км. При этом с учётом существующей орбитальной группировки время повторения съёмки необходимого региона (без учёта облачности) не превысит 1-2 дней на экваторе и 1 дня для регионов с широтой более 30°.

Примерно аналогичные характеристики повторяемости съёмки будут и для получения карт распределения цвета океана. Анализ данных показывает, что в настоящее время появилась возможность использования информации по цвету океана (информация КА SeaWiFS стала доступна несколько позже времени проведения Эксперимента) для оценки первичной биопродуктивности акватории, причём пространственное разрешение доступных данных возросло более чем в три раза, при сохранении общей полосы обзора.

Развитие электроники позволило увеличить количество спектральных каналов в оптических спектрометрах и инфракрасных радиометрах от 5 до 9 или 16 в зависимости от конкретного образца, что позволило внедрять дополнительные технологии улучшения качества получаемых данных.

Существенно продвинулись вперёд и характеристики радиолокационных комплексов. Пространственное разрешение изображений увеличилось в 5 раз, практически при сохранении прежней полосы обзора КА (80 против 100 км). Причём если использовать режим съёмки

с характеристиками пространственного разрешения, близкими к тем, что были у радиолокатора КА ERS-2, то в этом случае полоса обзора современных КА увеличится в 2,5 раза и составит 250 км. Здесь мы умышленно не упоминаем про радиолокационные системы TerraSAR-X (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x>) и SAR-Lupe (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/sar-lupe>), которые имеют лучшие характеристики пространственного разрешения, чем радиолокатор космической миссии Sentinel-1, но применяются для решения несколько иных задач, отличных от океанологических исследований.

## 11.4.2. АЛТИМЕТРИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Значительный скачок за последние 20 лет произошёл в области исследования топографии мирового океана дистанционными методами. Причём здесь следует говорить не об эволюционном, а уже революционном развитии бортовой аппаратуры и, соответственно, возможностей космических миссий.

Действительно, КА с альтиметрами на борту запускались ещё в середине XX в., тем не менее, точности измерения высоты морской поверхности (от 0,5 до 1 м) не позволяли максимально эффективно использовать полученную информацию для изучения циркуляции в Мировом океане.

Ситуация значительно изменилась в 1992 г. когда был запущен КА с первым «океанологическим» альтиметром — TOPEX/Poseidon, позволяющем получать измерения высоты морской поверхности с точностью 3...10 см (Benada, 1993). Этот комплекс показал возможность и эффективность применения спутниковой альтиметрии для решения большого количества прикладных задач, включая задачи прикладной океанологии и промышленного прогноза. Последующие альтиметрические миссии только расширяют исследовательские возможности предоставленные сообществу альтиметром TOPEX/Poseidon.

На первый взгляд, добиться революционных изменений в этой области было достаточно трудно. Основной проблемой спутниковой альтиметрии является необходимость аппроксимации информации для восстановления пространственных распределений высоты морской поверхности, что существенно ухудшает временное разрешение получаемых оценок. На момент проведения Эксперимента можно было восстановить карты высоты поверхности океана для выбранного региона за период времени от 10 до 35 сут, при этом можно было говорить только об исследовании крупномасштабных стационарных структур в океане с характерными размерами от 250 км и временем жизни не менее 10 дней (таблица 11.2). Изменения указанных параметров исследуемых структур можно было добиться только при комбинировании информации с различных альтиметров, что приводило, кроме прочего, к необходимости проведения специальных взаимных статистических расчётов и взаимных калибровок данных альтиметрических комплексов.

**Таблица 11.2.** Основные характеристики изучения среды, достижимые альтиметрическими комплексами (ТИ — точность измерения высоты поверхности, ПРС — пространственное разрешение восстанавливаемых структур на поверхности океана с учётом аппроксимации информации, ВРР — временное разрешение восстанавливаемых структур)

	Н, шт.	ТИ, см	ПРС, км	ВРР, дни	ДИА, км	ПО, км
Эксперимент	2	~10	250	10	2...30	–
Настоящее время и перспектива	4	~3	100...150 (1)	1	0,3	10...60

NASA предпринимало попытку перейти от получения данных в подспутниковой точке к измерениям в пространственной области, но проект подобного альтиметра для КА Jason-2 пришлось закрыть в силу бюджетных и временных ограничений.

Необходимость повышения эффективности применения альтиметров при изучении состояния ледового покрова, уровня рек и гидрологических режимов внутренних водоёмов и пр. поставило перед их создателями, казалось бы, не связанную с упоминаемой выше проблемой задачу — повышение пространственного разрешения (уменьшение пятна отклика от поверхности) космического альтиметра.

Для сравнения следует указать, что размер подспутникового пятна отклика сигнала альтиметра KA ERS-2 составлял около 20 км, альтиметра Poseidon-2 (Jason-1/2) 2 км, причём при высоте волнения 15 м размер пятна, в последнем случае, увеличивается до 12 км. На сегодняшний момент пространственное разрешение альтиметра SRAL KA Sentinel-3A(B) и перспективного альтиметра Poseidon-4 (Jason-CS/Sentinel-6) составляет 300 м.

Увеличения пространственного разрешения альтиметров удалось добиться применением технологии синтеза апертуры, причём размер пятна отклика сократился до единиц сотен метров и более не зависит от состояния морской поверхности.

В 2018 г. для исследования топографии мирового океана доступна информация минимум с четырёх альтиметрических аппаратов: Jason-2 и 3, а также Sentinel-3A и -3B. Уже сегодня можно говорить о том, что покрытие любого региона мирового океана вне зависимости от погодных условий доступно за суточный временной интервал (рисунок 11.11) при общем сохранении пространственных масштабов исследуемых структур. Иными словами, даже существующая группировка альтиметрических космических аппаратов, позволяет проводить исследования субмезомасштабной изменчивости мирового океана.

Революция в проведении исследований динамики поверхности океана произойдёт с внедрением практики исследований информации интерферометра KaRIn KA SWOT. Предшествующие альтиметры с синтезированной апертурой выступили плацдармом для появления принципиально новой технологии мониторинга поверхности океана. В отличие от всех существующих альтиметров он позволит получать не только измерения в подспутниковых точках, но и в 100-км полосе с сантиметровой точностью (3 см) и пространственным разрешением над акваториями мирового океана — 1 км.

Характеристики KaRIn (SWOT) сегодня уступают возможностям радиолокационной, а также оптической и инфракрасной съёмки. Тем не менее, впервые в практике проведения исследований появляется возможность мгновенной всепогодной топографической съёмки выбранного района мирового океана.

### 11.4.3. КОМПЛЕКСЫ МОНИТОРИНГА СОЛЁНОСТИ ОКЕАНА

В 1997 г. при проведении Эксперимента работы по исследованию солёности акватории проводились исключительно с использованием «контактных» средств измерений. Для получения пространственного распределения солёности на поверхности, исследуемого в рамках Эксперимента региона, для сравнения с прочей информацией о состоянии среды, требовалось от двух дней до двух недель.

С появлением KA SMOS и SMAP впервые появилась возможность практически мгновенного получения распределения солёности на поверхности акватории дистанционными методами. При полосе обзора 900 км микроволновые радиометры указанных аппаратов позволяют получать измерения солёности с разрешением 30...50 км, что открывает новые возможности при проведении океанологических исследований.

## 11.5. ВЫВОДЫ

В заключение раздела следует выделить основные тенденции, вытекающие из анализа характеристик существующих и перспективных комплексов исследования поверхности океана дистанционными способами.

С момента проведения Эксперимента средства дистанционного зондирования совершили значительный технологический скачок в своём развитии: при этом следует отметить, как эволюционные, так и революционные изменения.

Существенно эволюционировали дистанционные средства исследований видимого и инфракрасного и радиолокационного диапазонов, значительно улучшив показатели пространственного разрешения при сохранении ширины полосы обзора.

Добавилась принципиальная возможность получения данных о пространственном распределении солёности океана дистанционными средствами, что позволяет наряду с использованием информации о распределении температуры поверхности океана повысить эффективность промыслового прогнозирования.

Существенно продвинулись вперёд возможности исследования топографии мирового океана. Значительно увеличилось число доступных для океанологических исследований альтиметрических космических аппаратов, что позволяет повысить пространственное и временное разрешение восстанавливаемых распределений высоты морской поверхности. В перспективе ожидается появление принципиально нового прибора для исследования топографии океана — KaRIn (SWOT), который, впервые в истории космических альтиметрических наблюдений позволит перейти от получения данных в подспутниковой точке к измерениям в полосе обзора.

Обращает на себя внимание факт, что ещё 20 лет назад в рамках Эксперимента стоял вопрос о возможности использования радиолокаторов с синтезированной апертурой и ИК-радиометров для получения характеристик морской поверхности с их последующим использованием в интересах информационной поддержки осуществления промыслового прогнозирования. Сегодня, по сути ничего не поменялось, крайне необходимо исследовать применение микроволновых радиометров и интерферометров Ka-диапазона для дистанционного определения солёности и топографии морской поверхности с целью использования в прикладных задачах, соответственно.

Необходимо провести совместную обработку информации по температуре, цвету, солёности и топографии морской поверхности, получаемую дистанционным образом. Оценить качество дистанционных измерений солёности, а в перспективе и высоты морской поверхности океана и их последующего применения для решения задач промыслового прогноза, верифицировав их судовыми «контактными» измерениями, провести валидацию измерений акустической съёмкой и результатами контрольных тралений.

Проведённый обзор и анализ тенденций развития методов зондирования мирового океана лишний раз показывает и доказывает высокую актуальность постановки комплексного эксперимента, аналогично проведённому в 1997 г.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы завершили изложение материала книги. О чём ещё хочется сказать. Мы долго сомневались: стоит ли публиковать результаты исследований, полученные 20 лет назад. И, в конечном счёте, решили, что, безусловно, стоит.

Во-первых, потому что очень немногие полученные результаты были опубликованы в научных изданиях, поскольку события после завершения эксперимента развивались стремительно, и у нас просто не было физической возможности сосредоточиться на систематизированном, методически обоснованном изложении.

Во-вторых, анализ результатов зарубежных и отечественных работ в данной области исследований за прошедшее время убедительно показал, что в той полноте и системности, в которой был выполнен эксперимент, ничего подобного не публиковалось.

В третьих, появившиеся дополнительные возможности в обработке спутниковых данных, особенно данных спутниковой альтиметрии, позволил существенно расширить и углубить те выводы, которые были сделаны непосредственно после завершения эксперимента.

Достигнутые результаты комплексного научно-производственного эксперимента «Норвежское море – 97» докладывались на заседании Коллегии Росрыболовства, где получили высочайшую положительную оценку и рекомендацию о подготовке подобного эксперимента на Дальневосточном бассейне на промысле лососёвых рыб. Программа такого эксперимента на 1998–2000 гг. «Долгосрочная комплексная программа по исследованию влияния условий среды на подходы лососёвых рыб в сахалино-курильском районе с использованием средств дистанционного авиакосмического мониторинга «Космос – лосось-2000» была разработана в 1998 г. Согласована со всеми головными научно-исследовательскими институтами дальневосточного региона: ТИНРО, СахНИРО, КамчатНИРО и конечно ВНИРО, после чего была утверждена первым заместителем министра сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации А. В. Родиным.

Грянувшая после этого очередная перестройка отрасли разрушила эти грандиозные планы и им не суждено было сбыться. Тем не менее, следует отметить, что все научные и научно-производственные задачи, заявленные для решения в ходе выполнения эксперимента, были успешно решены, а поставленные цели — достигнуты.

Почему это всё ещё актуально? После распада СССР производственная деятельность рыбохозяйственной отрасли в значительной степени переместилась в районы, расположенные в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Российской Федерации. В основном, это районы, сосредоточенные у северных и дальневосточных границ России.

Использование традиционных информационных технологий уже не обеспечивало необходимой достоверности и полноты данных, поскольку при их сборе в значительной степени сказывается субъективный фактор — присутствие человека, оперирующего с данными.

Кроме того, пересечение интересов различных федеральных ведомств и региональных администраций, осуществляющих по законам РФ контроль производственной деятельности в ИЭЗ России. При этом ведомства, осуществляющие производственную деятельность — рыболовство, транспортные морские перевозки, добычу нефти и газа на шельфе и пр. заинтересованы в получении качественной оперативной информации, повышающей эффективность их деятельности, а также обеспечивающей ведомственный контроль за результатами производственной деятельности. Контролирующие же федеральные и региональные органы в основном интересуют надёжность и объективность осуществляемого контроля.

Традиционно производственную деятельность рыболовного флота обеспечивают значительные усилия отраслевых научно — исследовательских институтов, регулярно проводящих исследования состояния сырьевой базы и оценки запаса биоресурсов в различных промысловых районах с помощью научно — исследовательских судов. По результатам проводимых экспедиций созданы уникальные региональные базы данных, определяющие в значительной степени единый информационный ресурс отрасли. Однако затраты на проведение экспедиций

сегодня стали столь велики, что это настоятельно потребовало поиска новых путей повышения эффективности научных исследований за счёт использования современных технологий получения данных, включая дистанционные аэрокосмические методы и технологии мониторинга морей и океанов с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ) и самолётов. Такой подход позволяет значительно снизить экспедиционные затраты, в первую очередь за счёт уменьшения объёма фоновых съёмки и концентрации внимания только на потенциально пригодных для рыболовства районах.

Начиная с 1994 г. в отрасли орабатывались принципиально новые подходы к организации и проведению НИОКР, направленных на создание технологий информационного обеспечения промыслово — океанографического мониторинга. При этом ограниченность финансовых возможностей потребовала определения приоритетов в выполняемых разработках.

В этом смысле даже организация эксперимента была осуществлена на новых принципах, звучных модному сегодня проектному подходу выполнения НИОКР. Нами была выбранная такая форма заключения договоров с контрагентами, при которой в течение года обеспечивалась бы реализация конкретных отраслевых проектов. В 1996 г. объединяющим являлся комплексный подспутниковый эксперимент в Чёрном море, в ходе которого были реально оработаны методические подходы, использованные в Норвежском море. При этом одновременно были задействованы не только отраслевые структуры, но и институты и организации РАН, Военно-космических сил и оборонно-промышленного комплекса. В ходе этого эксперимента были оработаны элементы новых информационных технологий, обеспечивающих обнаружение из космоса океанологических явлений, таких как мезомасштабные вихри, фронтальные зоны, зоны дивергенций и конвергенций течений. Известно, что рыбные скопления часто приурочены к местам возникновения перечисленных явлений.

Очевидно, что максимальный эффект от использования космических данных может быть получен при поиске перспективных районов промысла. Именно на достижение такой цели и был направлен комплексный научно — производственный эксперимент летом 1997 г. на промысле скумбрии в открытой части Норвежского моря, когда в течение двух месяцев обеспечивалась деятельность группировки добывающего флота из 48 судов с помощью информации, получаемой от различных ИСЗ, отраслевого самолёта-лаборатории и научно-исследовательского судна.

При этом информационная поддержка включала в себя многоуровневую систему, состоящую из берегового, судового, авиационного и космического сегментов, объединённых между собой различными, в том числе и спутниковыми каналами связи. Некоторые типы спутниковых данных получались в московский штаб эксперимента, располагавшийся во ВНИРО по компьютерной глобальной сети интернет. После проведения необходимой обработки данные с помощью отечественной спутниковой системы связи «Гонец» передавались непосредственно на научно — исследовательское судно в Норвежское море, где после дополнительной обработки совместно с другими видами данных вырабатывались конкретные рекомендации промысловому флоту. Подобная технология была реализованы впервые в мире.

Информационную поддержку по прогнозу развития промысловой обстановки обеспечивали базы данных и усилия специалистов отраслевых бассейновых институтов ПИНРО и АтлантНИРО. Информация по расстановке флота и развитию промысловой ситуации обрабатывалась и анализировалась в НТФ «Комплексные системы» (Мурманск), после чего промысловые планшеты с расстановкой флота также передавались на научно-исследовательское судно в море.

В реальном масштабе времени определялись местоположение, структура и динамика локальных фронтальных зон и мезомасштабных вихрей.

Обнаружение в зонах этих неоднородностей высокопродуктивных в промысловом отношении районов и подтверждение этого гидроакустическими наблюдениями позволили, в отсутствие поисковых судов, своевременно ориентировать добывающий флот на резервные участки. Три раза промысловые суда успешно выходили на рекомендованные участки, что позволило оперативно рассредоточить флот по району. Обнаружение ядра нагульной скумбрии в зоне Норвегии дало возможность с учётом развития гидрологических условий



определить характер промысла на август – сентябрь. Вылов скумбрии в открытой части Норвежского моря составил в 1997 г. 30,3 тыс. т (в 1996 г. — 24,8 тыс. т), а вылов на судосутки лова судов типа «Меридиан» составил 47,1 т (в 1996 г. — 27,1 т).

Таким образом, осуществление тесного межведомственного взаимодействия при решении важной отраслевой задачи обеспечило получение столь значимого отраслевого экономического эффекта.

Авторы надеются, что данная монография может быть полезной широкому кругу специалистов, причём не только рыбной отрасли, поскольку с точки зрения системного подхода апробированные в ходе эксперимента подходы полностью пригодны при организации и проведении мониторинговых работ в различных отраслях народного хозяйства Российской Федерации.

# ЛИТЕРАТУРА

- Агатова А. И. и др. Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство. М.: Агропромиздат, 1991. 222 с.
- Агатова А. И., Дафнер Е. В., Сапожников В. В. и др. (1996а) Основные закономерности распределения растворенного и взвешенного органического вещества в Охотском море // *Океанология*. 1996. Т. 36. № 6. С. 856–864.
- Агатова А. И., Сапожников В. В., Торгунова Н. И. (1996б) Сравнительное определение растворенного органического вещества методом фотоокисления с персульфатом и методом высокотемпературного каталитического сожжения в различных морях (Черном, Беринговом, Охотском) // *Океанология*. 1996. Т. 36. № 3. С. 471–477.
- Акимов Н. П. и др. Многозональное сканирующее устройство малого разрешения МСУ-МР для космического информационного комплекса «Метеор-М». Принцип работы, эволюция, перспективы // *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*. 2015. Т. 2. Вып. 4. С. 30–39.
- Алексеев А. П., Истошин Б. В., Солоницына Л. Р. Таблицы средних значений температуры, солёности и их нормы на стандартных разрезах Норвежского и Гренландского морей (1947–1971 гг.). Мурманск: ПИНРО, 1973. 282 с.
- Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.
- Винберг Г. Г., Калер В. Л. Сравнительное исследование первичной продукции планктона радиодуглеродным и кислородным методами // *Докл. АН СССР*. 1960. Т. 130. № 2. С. 446–449.
- Горбунов А. В., Ильина И. Ю., Саульский В. К. Состояние и перспективы развития космических комплексов «Канопус-В» и «Метеор-М» // *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*. 2015. Т. 2. Вып. 4. С. 14–19.
- Грузов Л. Н. Основные закономерности сезонного развития зоопланктона в различных районах Норвежского моря // *Норвежское море*. Калининград, 1963. С. 5–30.
- Дробышева С. С., Дегтерева А. А., Нестерова В. Н. и др. Наставление по определению кормовых объектов и зон откорма пелагических рыб в Баренцевом и Норвежском морях // Мурманск: ПИНРО, 1986. 74 с.
- Забавников В. Б. Авиация на службе рыбохозяйственной науки: прошлое, настоящее и перспективы // *Рыб. хоз-во*. 2006. № 1. С. 23–25.
- Иваненков В. Н. Химические черты вод, заполняющих глубоководные желоба Мирового океана // *Химико-океанол. исслед.* М.: Наука, 1977. С. 210–216.
- Истошин В. Б., Алексеев А. П. Схема постоянных течений Норвежского и Гренландского морей // *Труды ПИНРО*. 1956. Вып. 9. С. 62–68.
- Кабанова Ю. Г. О первичной продукции в Кандалакшском заливе Белого моря // *Донная флора и продукция краевых морей СССР*. М.: Наука, 1980. С. 118–124.
- Каган А. Б. Взаимодействие океана и атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 335 с.
- Карабашев Г. С. Флюоресценция в океане. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 200 с.
- Кравцов Ю. А., Митягина М. И., Пунгин В. Г., Яковлев В. В. Проявления конвективных процессов в приводном слое атмосферы на радиолокационных изображениях морской поверхности // *Исследование Земли из космоса*. 1996. № 1. С. 3–14.
- Куницын В. Е., Романов А. А. Восстановление карт поверхности океана методом локальной сплайн аппроксимации с хаотично расположенными узлами // *Радиотехника и электроника*. 2004. Т. 49. № 4. С. 466–480.
- Левасту Т., Ларкинз Г. Морская промысловая экосистема. М.: Агропромиздат, 1987. 168 с.
- Левашов Д. Е. «АКВАШАТЛ» — следующий этап инструментального обеспечения отраслевых НИС // *Рыб. хоз-во*. 1999. № 6. С. 42–44.
- Левашов Д. Е. Техника проведения экспедиционных исследований среды в промышленном рыболовстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.17, 25.00.28. Москва, 2004. 329 с.
- Левашов Д. Е. Инструментальные методы оценки кормовой базы рыбных скоплений на основе оптических принципов измерений // *Труды ВНИРО*. М.: ВНИРО, 2014. Т. 15. С. 57–72.
- Левашов Д. Е., Сапожников В. В., Жаворонков А. И., Воронков А. П. Анализ современного состояния зондирующей и буксируемой океанологической аппаратуры (итоги международной выставки "Oceanology International-96") // *Океанология*. 1997. Т. 37. № 1. С. 155–160.
- Луляя Е. А., Мазуров А. А., Назиров Р. Р., Прошин А. А., Флитман Е. В. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2004. с 81–89.

- Методы химических исследований океана / под ред. О. К. Бордовского, В. Н. Иваненкова. М.: Наука, 1978. 270 с.
- Мордасова Н. В., Метревелли М. П.* Исследования фитопигментов в промысловой части Норвежского моря // 11-я Всерос. конф. по промысл. океанологии. Калининград. 1999: тез. докл. С. 30.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9. Ч. 2. Гидрометеорологические наблюдения, проводимые штатными наблюдателями. РД 52.04.316-92.
- Радиолокация поверхности Земли из космоса / под ред. Митника Л. М., Викторова С. В. Л.: Гидрометеиздат. 1990, 200 с.
- Романов А. А.* Современные возможности использования спутниковой информации в отраслевых задачах краткосрочного прогнозирования и управления флотом. Состояние и ближайшие перспективы // Новые информационные технологии и дистанционные методы отраслевого мониторинга промысловых районов Мирового океана. М.: ВНИРО, 1996.
- Романов А. А.* Результаты научно-производственного эксперимента «Норвежское море-97» // Рыб. хоз-во. 1998. № 4. С. 33–35.
- Романов А. А.* Использование новых информационных технологий в отраслевой системе мониторинга Госкомрыболовства России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2004. Т. 1. С. 17–32.
- Романов А. А., Матвеев С. В.* Программные пакеты Erdas Imagine и ArcView GIS 3.0 в отраслевом научно-производственном эксперименте «Норвежское море-97» // ArcReview современные геоинформационные технологии. 1998. № 2(5). С. 2.
- Романов А. А., Сапожников В. В.* Комплексный подспутниковый эксперимент в Черном море (НИС «Южморгеология», 1–10 сентября 1996 г.) // Океанология. 1997. Т. 37. № 5. С. 792–797.
- Романов А. А., Сапожников В. В.* Комплексный научно-производственный эксперимент в Норвежском море с использованием космических, авиационных и судовых средств (НИС «Академик Борис Петров», 2 июля – 1 августа 1997 г.) // Океанология. 1998. Т. 38. № 3. С. 466–472.
- Романов А. А., Косицын В. П., Кузнецов М. Б., Матвеев С. В., Моисеенко Г. С., Никонов А. А., Столярский С. И., Чумаков А. Л.* Методические рекомендации для автоматизированного построения карт по данным ИСЗ NOAA в условиях НИС типа «Атлантик-833»: Препринт. М.: ВНИРО, 1990. 76 с.
- Романов А. А., Косицын В. П., Кузнецов М. Б., Матвеев С. В.* Автоматизированное восстановление ТПО по данным ИСЗ NOAA в судовых условиях // Труды НПО «Планета». Л.: Гидрометеиздат, 1991. Вып. 41.
- Романов А. А., Матвеев С. В., Родин А. А.* Автоматизированная станция приёма спутниковой информации «Мемосат» // Новые информационные технологии и дистанционные методы отраслевого мониторинга промысловых районов Мирового океана. М.: ВНИРО, 1996. С. 21–31.
- Романов А. А., Матвеев С. В., Максименко Д. В.* (1997а) Модернизация станции приема спутниковой информации «Мемосат-М» // Дистанционные методы мониторинга промысловых районов Мирового океана в задачах информационной поддержки отраслевой научно-производственной деятельности. М.: ВНИРО, 1997.
- Романов А. А., Родин А. В., Мишкин В. М.* (1997б) Концепция отраслевой Службы спутникового научно-производственного мониторинга промысловых районов Мирового океана // Дистанционные методы мониторинга промысловых районов Мирового океана в задачах информационной поддержки отраслевой научно-производственной деятельности: сб. науч. тр. / под ред. А. А. Романова. М.: ВНИРО, 1997. С. 7–33.
- Романов А. А., Шевченко Г. В., Седаева О. С.* Сезонные колебания уровня Охотского моря по данным береговых мареографных станций и спутниковой альтиметрии // Исследование земли из космоса. 2004. № 6. С. 59–72.
- Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов мирового океана / под ред. В. В. Сапожникова. М.: ВНИРО, 2003. 202 с.
- Сапожников В. В., Горюнова В. Б., Левенко Б. А., Дулов Л. Е., Антал Т. К., Маторин Д. Н.* Сравнительное исследование первичной продукции в Норвежском море разными методами // Океанология. 2000. Т. 40. № 2. С. 234–240.
- Сентябов В. Е.* Межгодовые изменения океанографических условий в норвежском море и их влияние на распределение пелагических рыб: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.28. СПб., 2009. 171 с.
- Сентябов В. Е., Бочков Ю. А., Морозова Г. Н.* Долгосрочный прогноз условия промысла скумбрии // Рыб. хоз-во. 2000. № 2. С. 28–30.

- Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в норвежской энергоактивной зоне / ред. Ю. В. Николаева, Г. В. Алексеева. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 128 с.
- Хела И., Левасту Т. Промысловая океанография. М., Пищевая промышленность, 1970. 184 с.
- Черноок В. И. Методология и практика самолётного многоспектрального зондирования арктических морей для промышленного рыболовства: дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.36. Мурманск, 2001. 358 с.
- Черноок В. И., Заферман М. Л., Гаврилов Е. Н., Ермольчев В. А., Пономарев Я. И., Селиверстов Н. Л., Шавыкин А. А., Шалфеев А. Н. Разработка и совершенствование технических средств исследований в ПИНРО // Комплексные рыбохозяйственные исследования ПИНРО на Северном бассейне: итоги и перспективы: сб. науч. тр. Мурманск, 1991. С. 255–280.
- Чуркин А. Л. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» со спутником «Метеор-М» // Геоматика. 2009. № 3. С. 79–86.
- Шатохин Б. М., Мишкин В. М., Ключков Д. Н. и др. Синоптический период определения биомасс пелагических рыб (на примере скумбрии СВА) // Рыб. хоз-во. 2002. № 5. С. 23–26.
- Шевченко Г. В., Романов А. А. Определение характеристик прилива в Охотском море по данным спутниковой альтиметрии // Исследование земли из космоса. 2004. Вып. 1. С. 49–62.
- Шевченко Г. В., Романов А. А. Определение параметров суточных приливных шельфовых волн в районе Северных Курильских островов по данным спутниковой альтиметрии // Исследование Земли из космоса. 2008. № 3. С. 76–87.
- Юданов К. И., Калихман И. Л., Теслер В. Д. Руководство по проведению гидроакустических съемок. М.: ВНИРО, 1984. 124 с.
- Alsford A., Lettenmaier D., Vörösmarty C. The Need for Global Satellite-based Observations of Terrestrial Surface Waters // EOS Trans. AGU. 2003. V. 84. No. 29. P. 269–280.
- Benada R. PO.DAAC merged GDR (T/P) users handbook. Rep. JPL D-11007. Pasadena: Jet Propul. Lab., 1993. 111 p.
- Blondeau-Patissier D. et al. A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans // Progress in Oceanography. 2014. V. 123. P. 123–144.
- Burch P. M. Joint Polar Satellite System (JPSS), Program Overview and Status. 2012. URL: <http://www.goddard-contractors-association.org/presentations/7-31-2012>.
- Cappo M., Stagi T., Hennig J. Delderfield The Sea & Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) technologies // Proc. 61<sup>st</sup> IAC. Czech Republic. 2010. IAC-10.B1.3.4.
- Changjun Li, Hong Zhao, Hongping Li, Kebo Lv Assessment of SMOS and Aquarius/SAC-D salinity data accuracy in South China Sea: Three statistical methods // Proc. IGARSS. Italy. 2015. P. 954–957.
- Chang-Kou Tai The temporal aliasing formulas for tandem mission of Jason-1 and TOPEX/Poseidon // J. Atmospheric and Oceanic Technology. 2009. V. 26. No. 2. P. 352–367.
- Coppo P. et al. SLSTR: a high accuracy dual scan temperature radiometer for sea and land surface monitoring from space // J. Modern Optics. 2010. V. 12. P. 1362–3044.
- Cressie N. The Origins of Kriging // Mathematical Geology. 1990. V. 22. No. 3. P. 239–252.
- Eanes R., Bettadpur S. The CSR 3.0 Global Ocean Tide Model. Technical memorandum CSR-TM-95-06. 1995.
- Entekhabi D. et al. The NASA soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission Formulation // Proc. IGARSS. Canada. 2011. P. 2302–2305.
- Ermakov S. A. et al. Surface films effect on short wind waves // Dynamics of Atmosphere and Oceans. 1986. V. 10. P. 31–50.
- Esteban-Fernandez D. et al. The Surface Water and Ocean Topography Mission: Centimetric Spaceborne Radar Interferometry // Proc. SPIE Remote Sensing Conference. France. 2010. paper: 7826-37.
- Ivanov A., Ginzburg A. Ocean eddies in synthetic aperture radar images // Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.). 2002. V. 111. No. 3. P. 281–295.
- Johannessen J. A. et al. SAR Ocean features catalogue. ESA Publ. Div: ESA SP-1174, 1994. 106 p.
- Johannessen J. A. et al. Coastal ocean fronts and eddies imaged with ERS-1 synthetic aperture radar // J. Geophys. Res. 1996. V. 101. No. C3. P. 6651–6667.
- Johannessen O. A. et al. COAST WATCH'95: upper ocean features from ERS SAR imagery // Proc. IGARSS'97. Singapore. 1997. P. 1165–1167.
- Johnson J. T., Aksoy M. Studies of radion frequency interference of SMOS observations // Proc. 2011 IEEE Aerospace Conf. USA. 2011. P. 4210–4212.
- Jutz S. Copernicus — an European Achievement. 2015. URL: <http://www.unoosa.org/pdf/pres/stsc2015/tech-53E.pdf>.

- Kondranin T., Romanov A., Vasilkov A., Sherbakov A. Remote control of the nature waters with use of space optoelectronic systems // Proc. SPIE 3<sup>rd</sup> Conf. Photonic Systems for Ecological Monitoring. Prague. 1997. P. 13–18.
- Le Provost C., Bennett A., Cartwright D. Ocean tides for and from TOPEX/Poseidon // Science. 1995. V. 267. P. 639–642.
- Le Traon P. Y., Stum J., Dorandeu J., Gaspar P., Vincent P. Global statistical analysis of TOPEX and POSEIDON data // Journal of geophysical research. 1994. V. 99. No. C12. P. 24,619–24,631.
- Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V. (1998a) Radar Signatures of Norwegian Current Hydrological Features // Proc. 27<sup>th</sup> Intern. Environmental Conference. Tromse. 1998. P. 155–158.
- Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V. (1998b) Studies of Correlation Between Ocean Current Features and Biological Productivity Using Space Remote Sensing Methods // Proc. PORSEC'98. Qindao. 1998. P. 466–469.
- Litovchenko K., Romanov A., Zaitsev V. Remote Sensing of Eddies in Norwegian Sea // Proc. IGARSS'99. Hamburg, 1999. P. 2536–2538.
- Mallet A. et al. Surface water and ocean topography measurement principle // Proc. 2<sup>nd</sup> Workshop on Advanced RF Sensors and Remote Sensing Instruments 2009. Netherlands. 2009. P. 111–115.
- Marmorino G. O. et al. Gulf Stream surface convergence imaged by synthetic aperture radar // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. No. C9. P. 18,315–18,328.
- Martin-Neira M. et al. MIRAS: the 2D L-band Interferometer on board SMOS // Proc. Advanced RF Sensors for Earth Observation 2006 Workshop on RF and Microwave Systems, Instruments and Sub-Systems. Netherlands. 2006. P. 211–213.
- Mavrocordatos C., Berruti B., Aguirre M., Drinkwater M. The Sentinel-3 mission and its Topography element // Proc. IGARSS'2007. 2007. P. 3529–3532.
- Neeck S. P., Lindstrom E. J., Vaze P. V., Fu Lee-Lueng. Surface Water and Ocean Topography (SWOT) Mission // Proc. SPIE Remote Sensing 2012. Scotland, UK. 2012. P. 8531–8539.
- Nilsson C. S., Tildesley P. C. Imaging of oceanic features by ERS-1 synthetic aperture radar // J. Geophys. Res. 1996. V. 100. No. C1. P. 953–967.
- Romanov A. The Preliminary Results of Sea truth Experiment “NorSea'97” // Proceedings of 2<sup>nd</sup> Intern. Workshop on Ocean Color. Berlin. 1998. P. 125–127.
- Romanov A., Matveev S., Fefilov Y., Romanov A. Fisheries Application of Multi-sensor Remote Sensing Data // Proc. IGARSS'2001. Sydney. 2001. P. 1134–1136.
- Schueler C. et al. VIIRS Sensor Performance // Proc. IGARSS 2003. France. 2003. P. 369–372.
- Simrad EP500. Echo Processing system (Instruction manual). Simrad Subsea AS. Horten-Norway. 1994. 76 p.
- Spencer M., Chan S., Veilleux L., Wheeler K. The Soil Moisture Active/Passive (SMAP) Mission Radar: a Novel Conically Scanning SAR // Proc. 2009 IEEE Radar Conf. USA. 2009. Paper: 3189.
- Varchetta S., L'Abbate M., Mappini M., Svava C. From ERS to Sentinel-3 Altimetry Radiometers // Proc. 58<sup>th</sup> IAC. India. 2007. IAC-07-B1.3.05.

# Приложение 1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЪЁМКИ ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ НИС «АТЛАНТИДА» (ПИНРО) 31.05–13.06.1997 г.

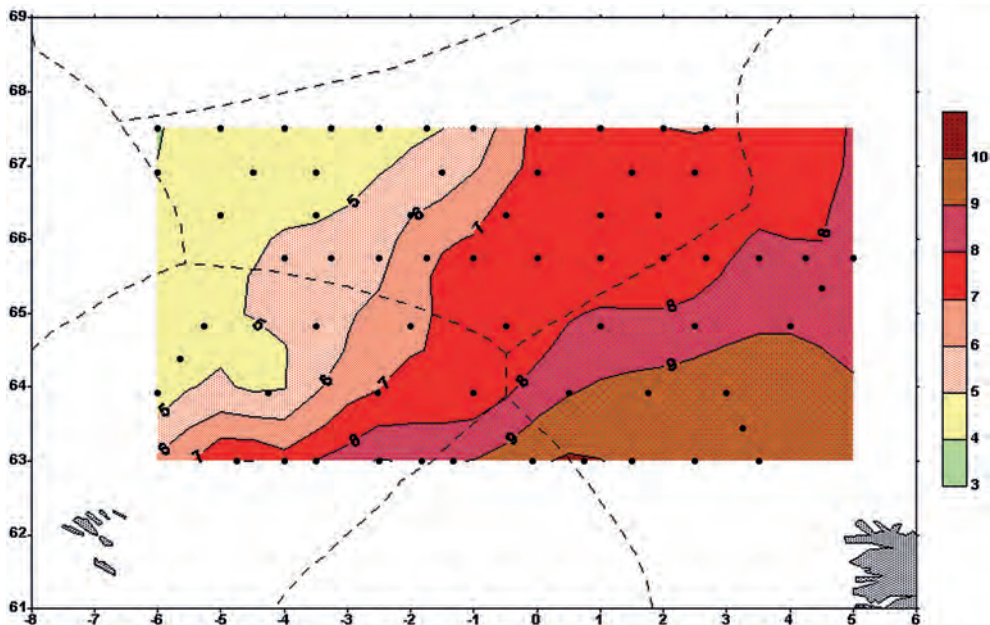


Рисунок П1.1. Распределение температуры поверхности океана (°C), 31.05–13.06.1997

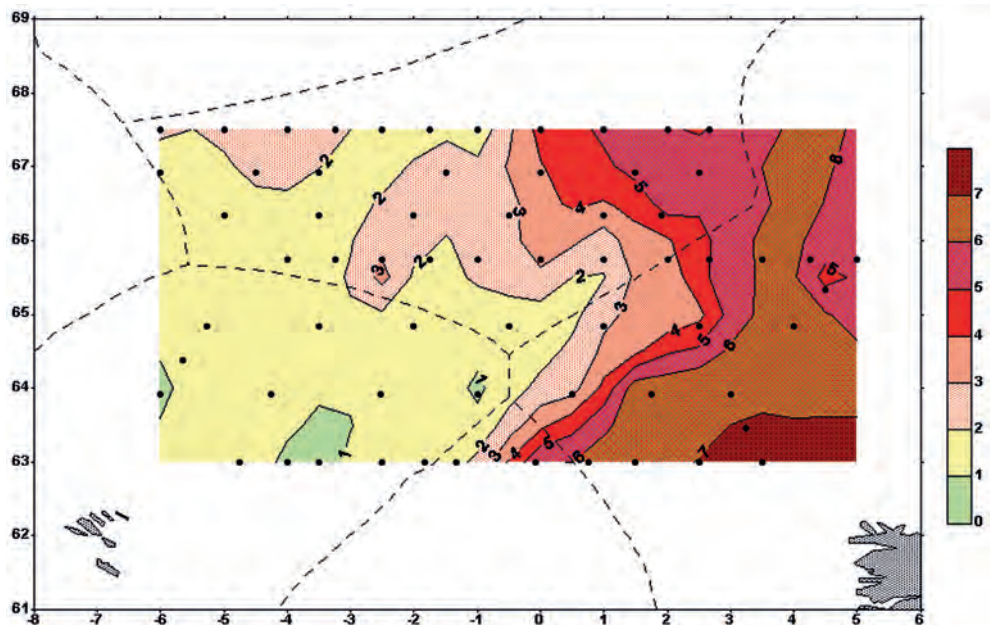
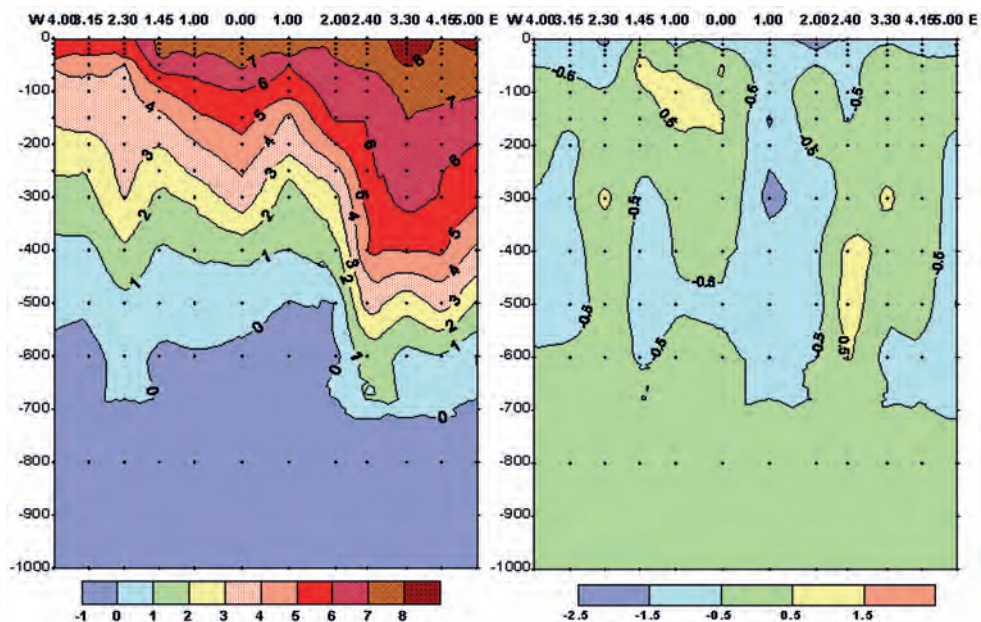
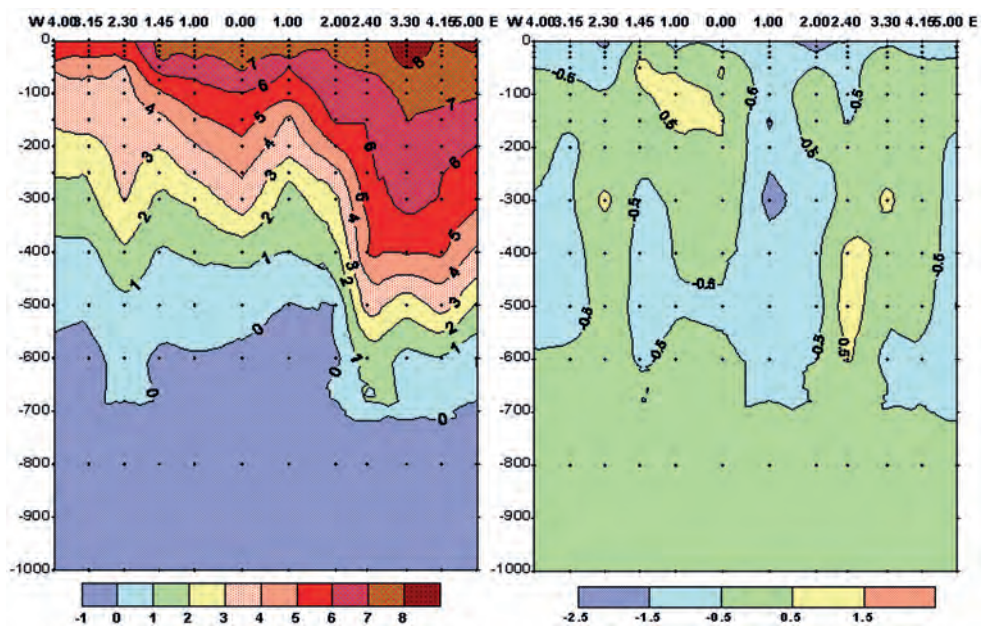


Рисунок П1.2. Распределение температуры на глубине 300 м (°C), 31.05–13.06.1997



**Рисунок П1.3.** Вертикальный разрез температуры (слева) и аномалий температуры (справа) в ОЧНМ вдоль 67°30', 31.05–01.06.1997



**Рисунок П1.4.** Вертикальный разрез температуры (слева) и аномалий температуры (справа) в ОЧНМ вдоль 65°45', 05.06–06.06.1997

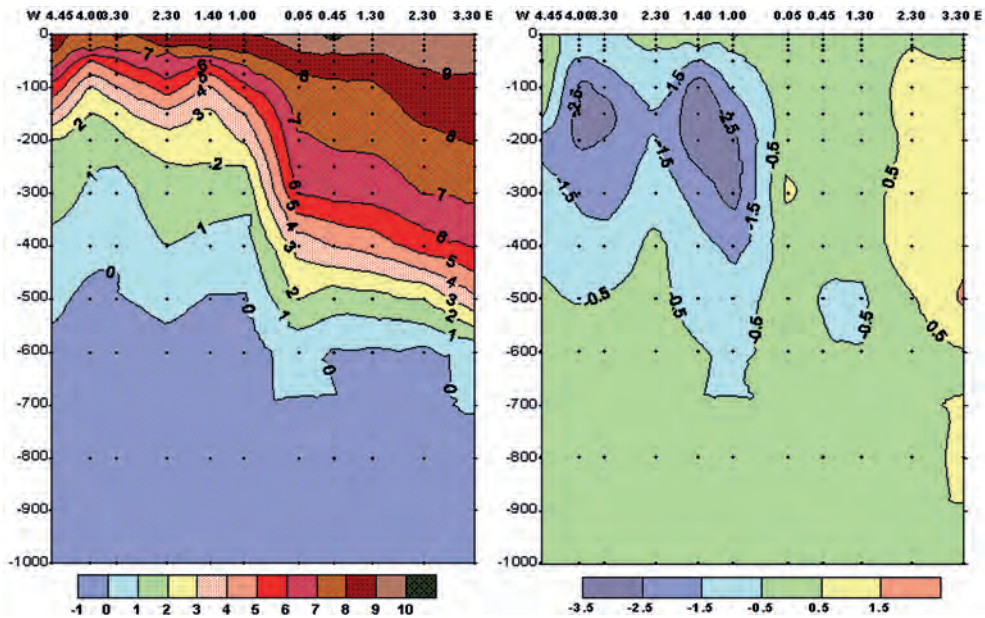


Рисунок П1.5. Вертикальный разрез температуры (слева) и аномалий температуры (справа) в ОЧНМ вдоль  $63^{\circ}00'$ , 11.06–12.06.1997

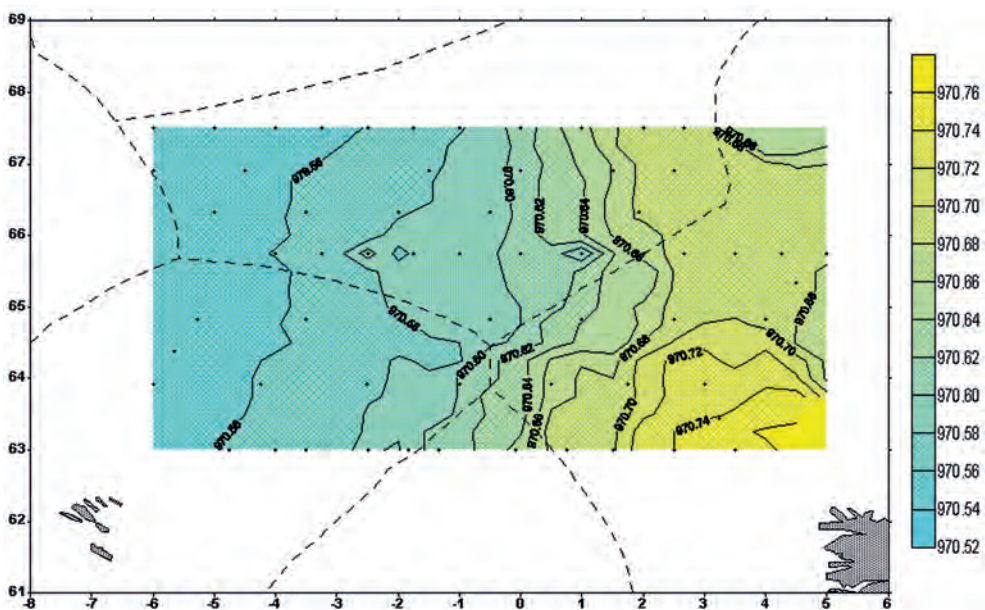
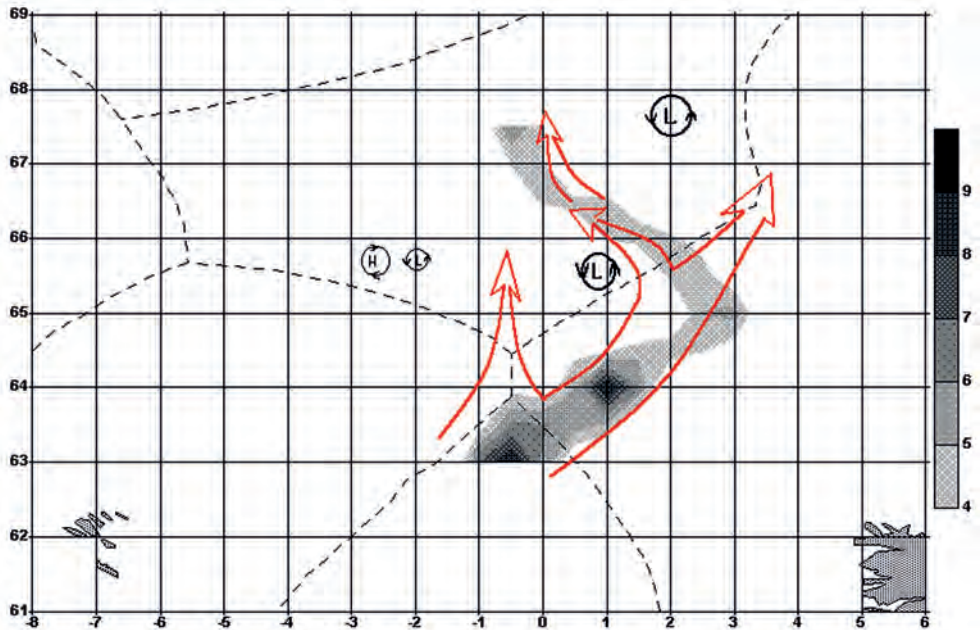
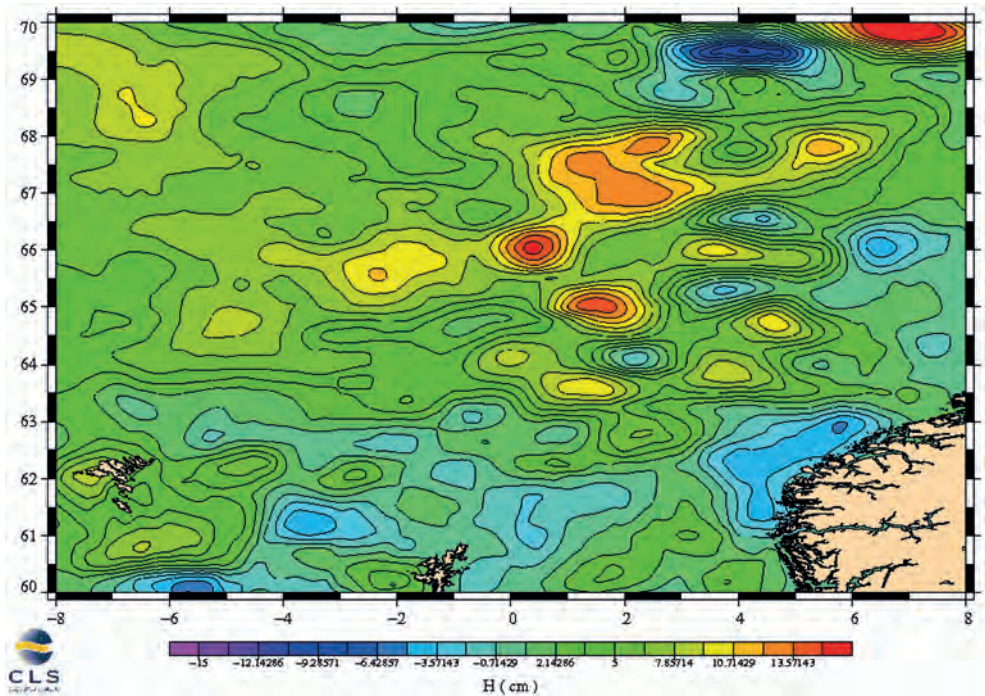


Рисунок П1.6. Динамическая топография в ОЧНМ (дин-см), 31.05–13.06.1997

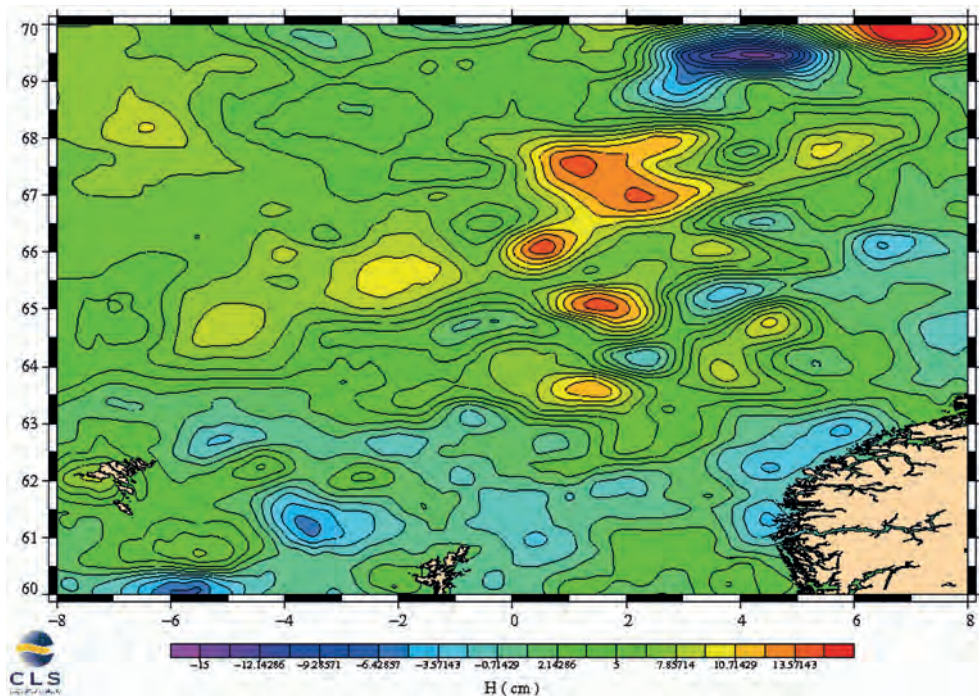




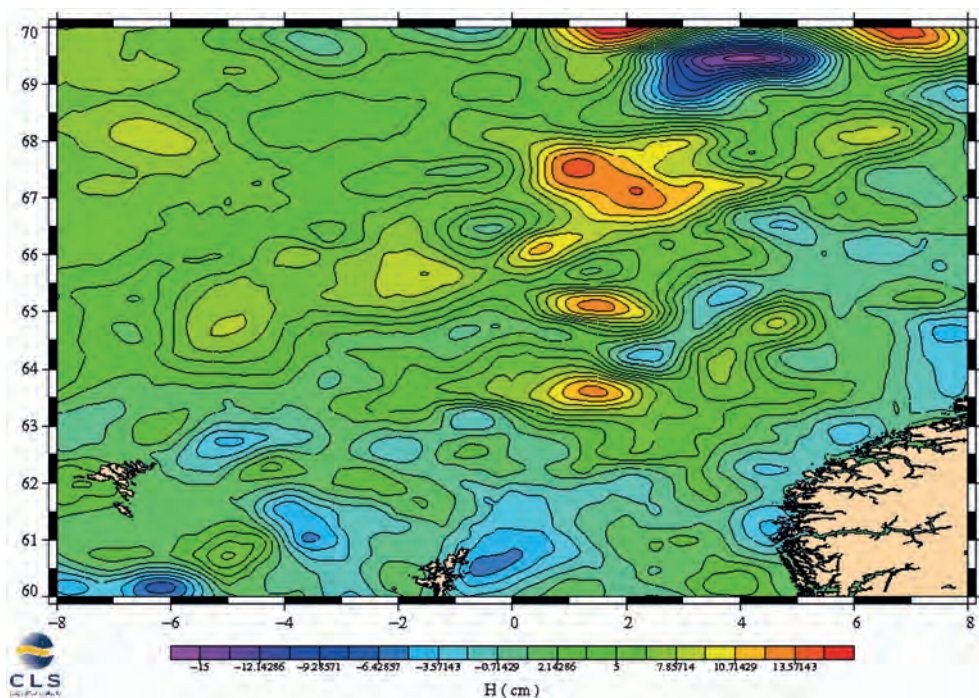
**Рисунок П1.7.** Схематическое представление прогноза миграции скумбрии в июне – июле 1997 г. (красные стрелки), распределение температуры на глубине 300 м (серый градиент) и местоположение мезомасштабных вихревых образований



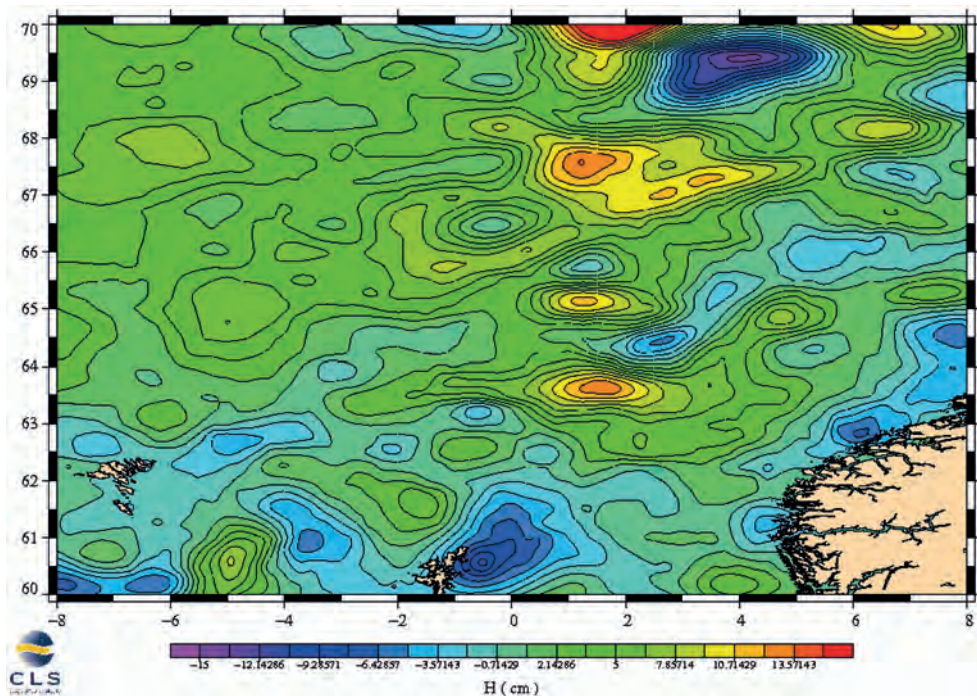
**Рисунок П1.8.** Распределение аномалий морской поверхности 31.05.1997 по данным TOPEX/Poseidon и ERS-2



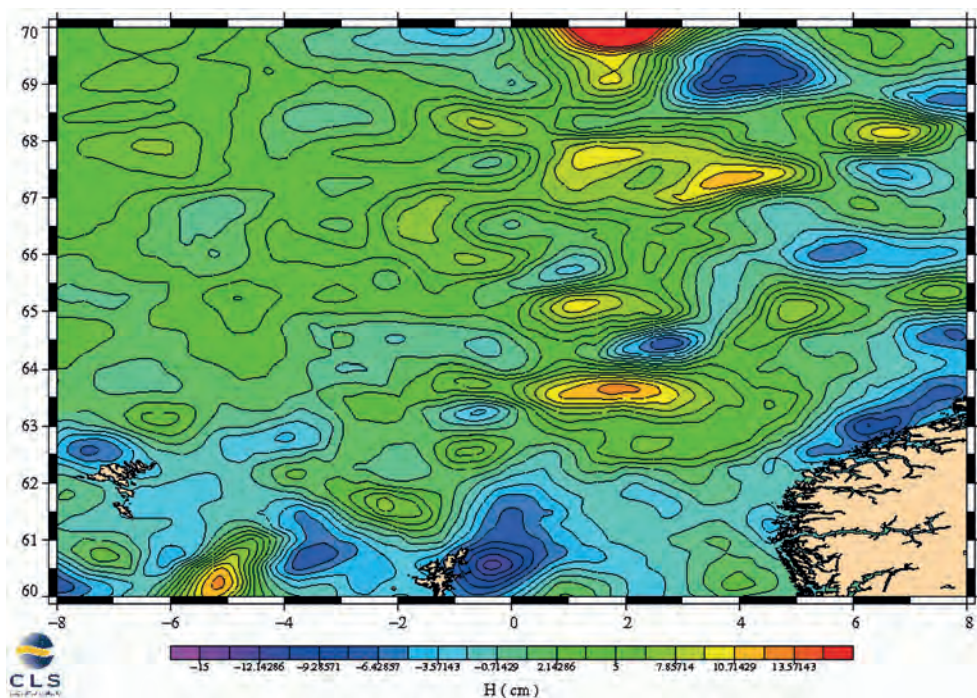
**Рисунок П1.9.** Распределение аномалий морской поверхности 03.06.1997 по данным TOPEX/Poseidon и ERS-2



**Рисунок П1.10.** Распределение аномалий морской поверхности 06.06.1997 по данным TOPEX/Poseidon и ERS-2



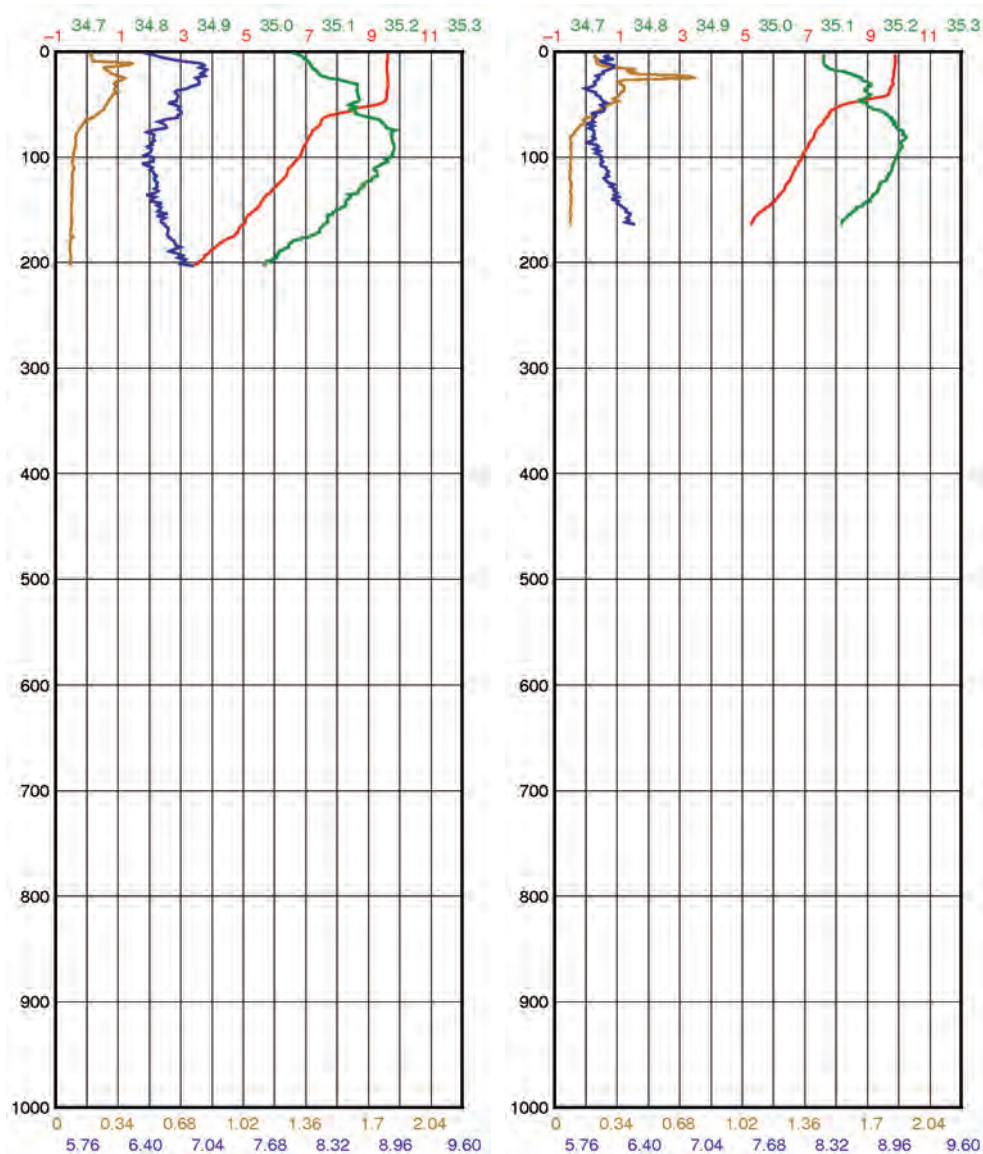
**Рисунок П1.11.** Распределение аномалий морской поверхности 09.06.1997 по данным TOPEX/Poseidon и ERS-2



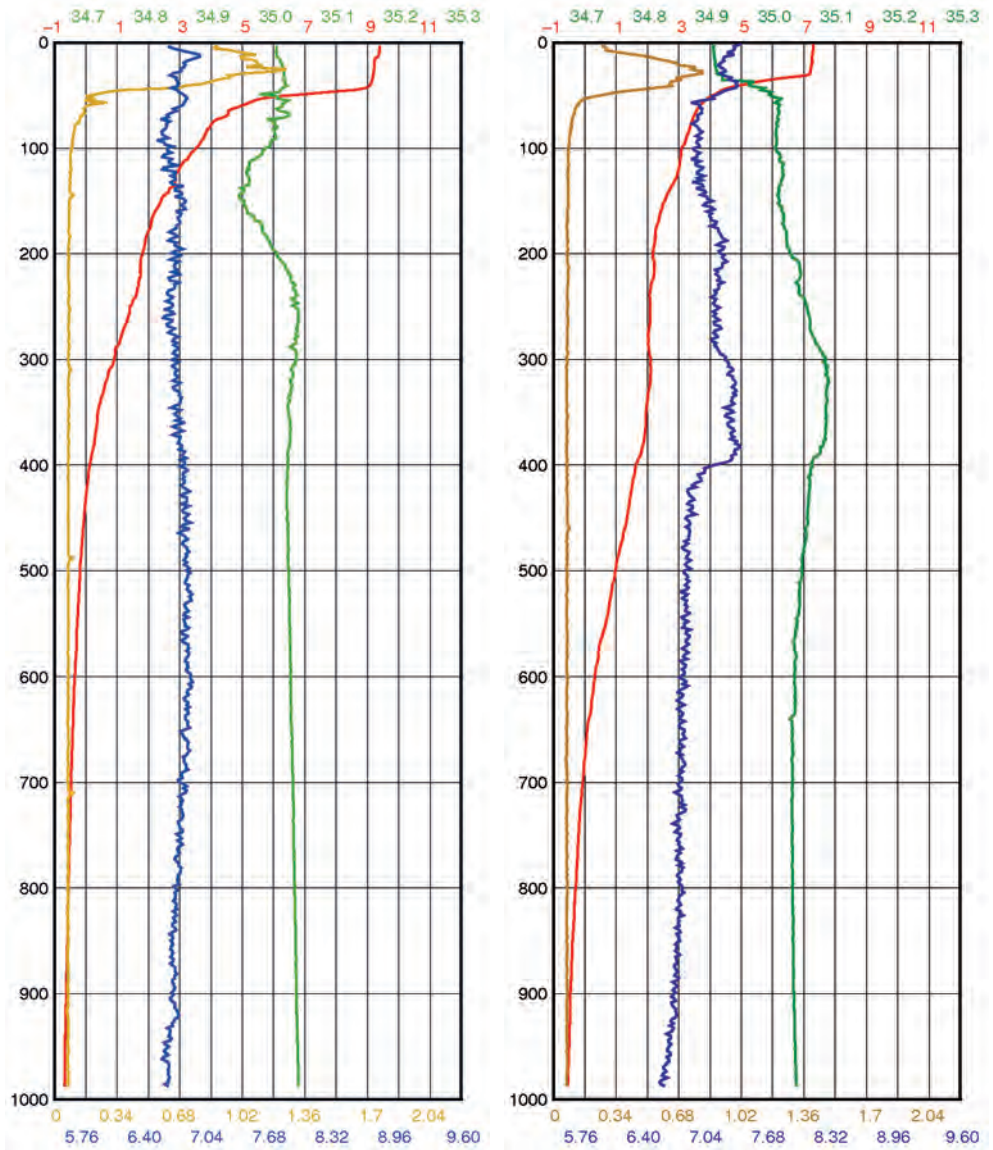
**Рисунок П1.12.** Распределение аномалий морской поверхности 13.06.1997 по данным TOPEX/Poseidon и ERS-2

## Приложение 2.

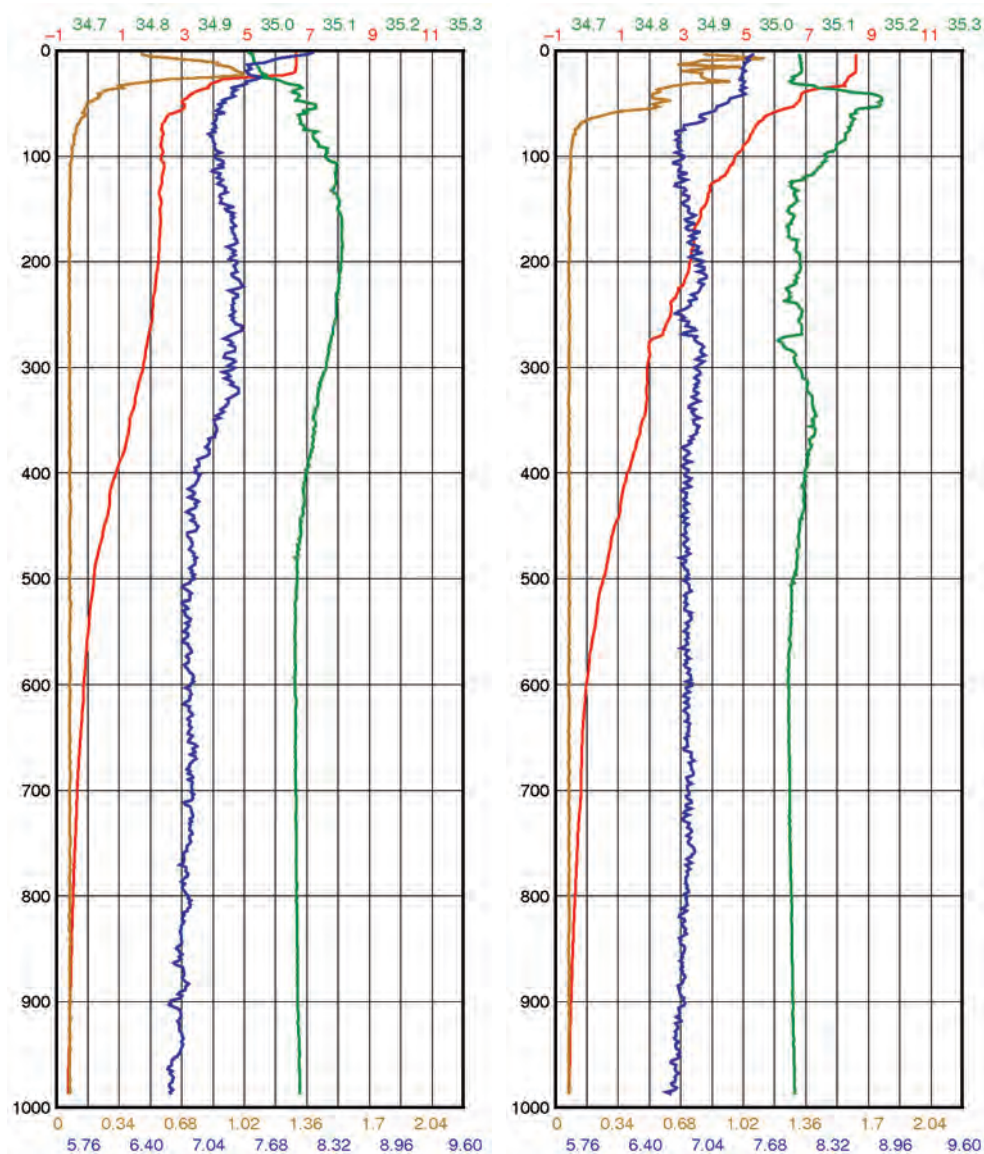
### ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ГЛУБОКОВОДНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ



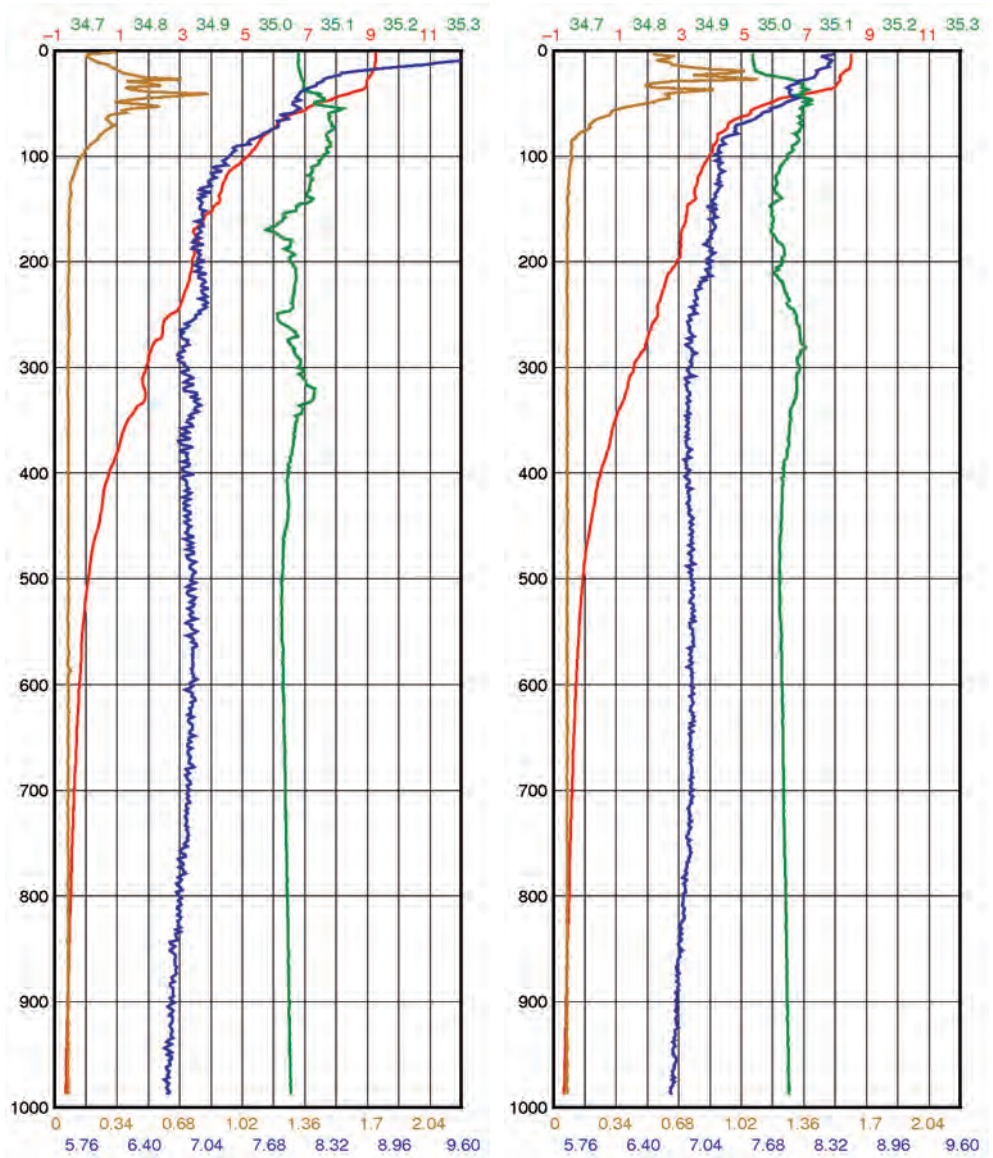
**Рисунок П2.1.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 1 (слева) и станции 2 (справа)



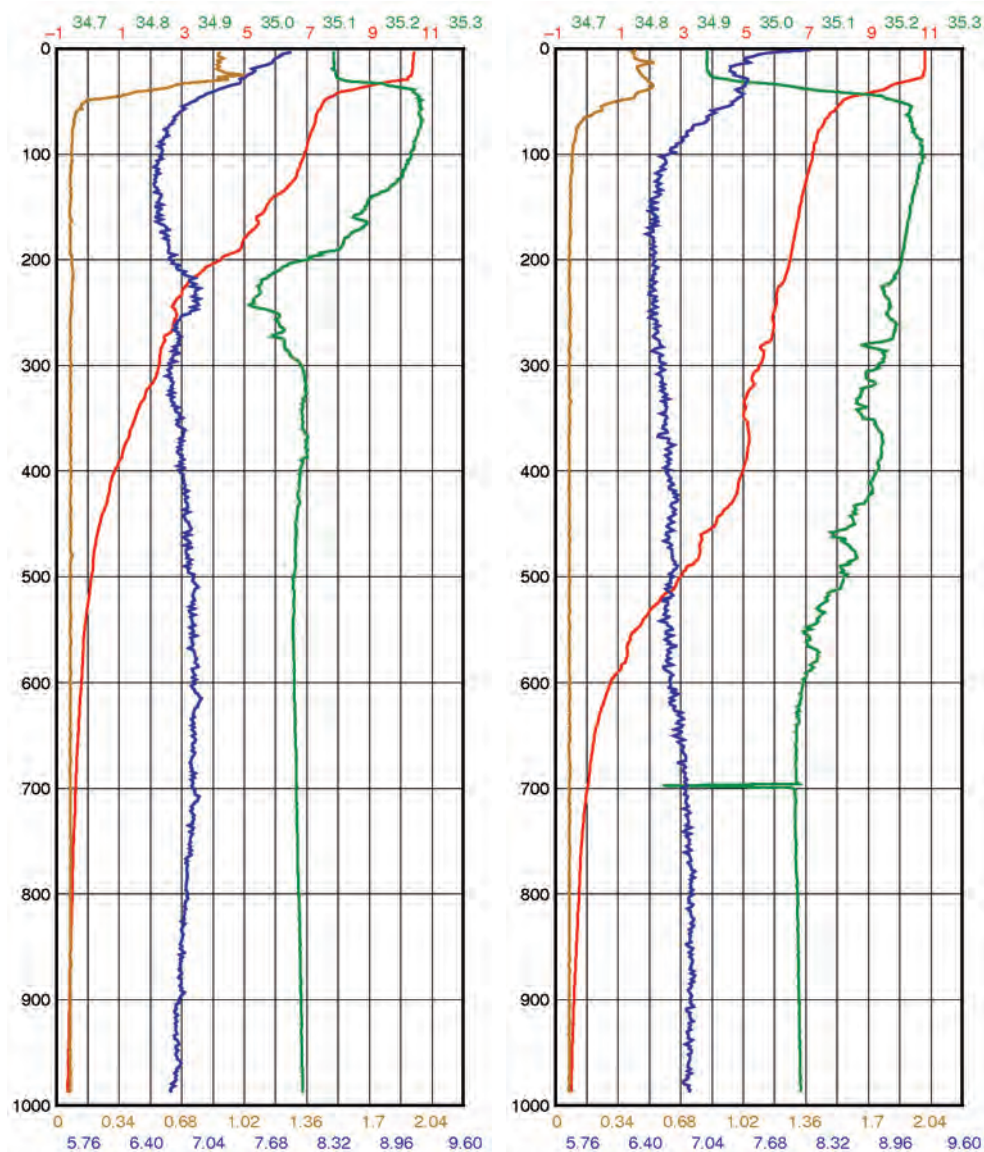
**Рисунок П2.2.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 3 (слева) и станции 4 (справа)



**Рисунок П2.3.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 5 (слева) и станции 6 (справа)

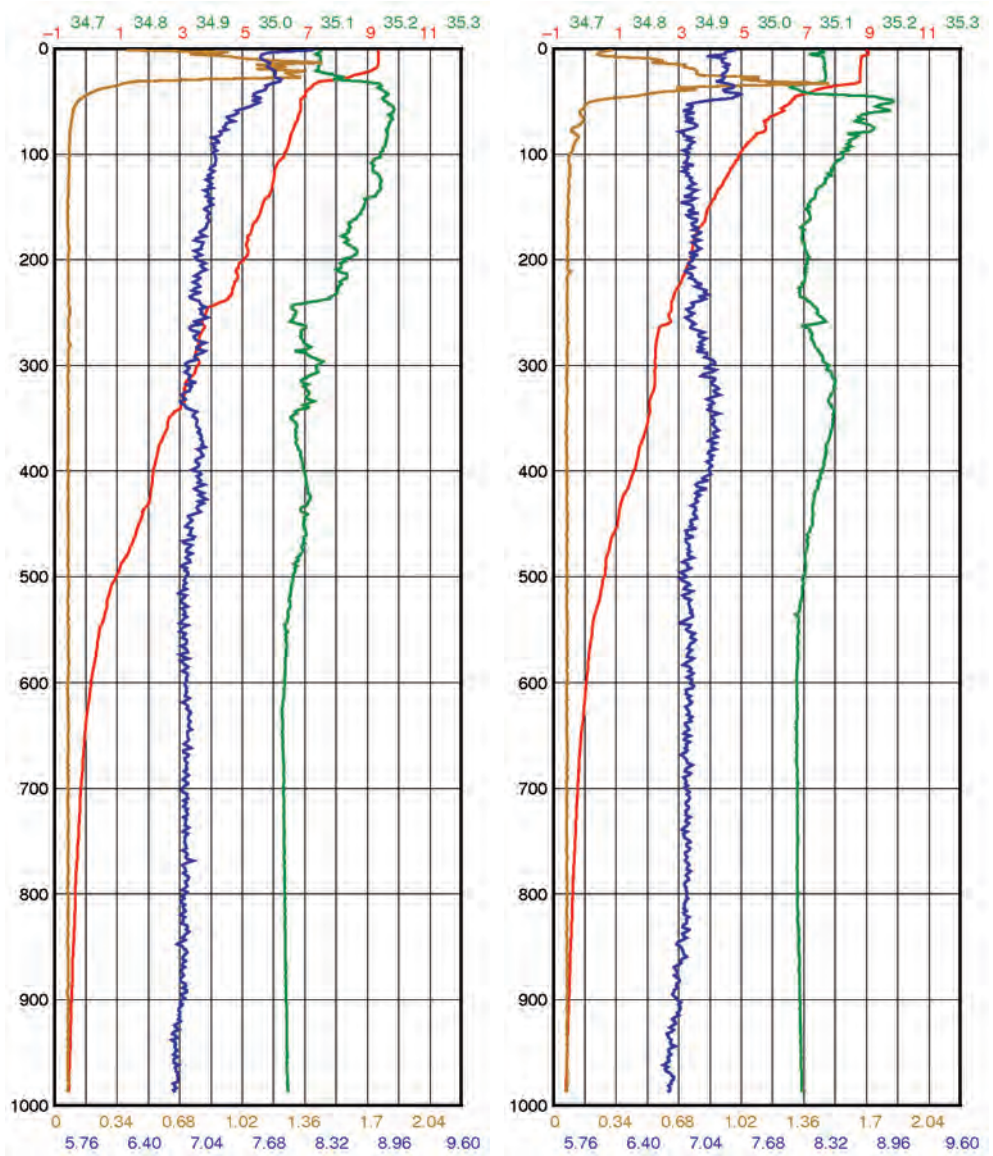


**Рисунок П2.4.** График зависимости температуры (°С) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 7 (слева) и станции 8 (справа)

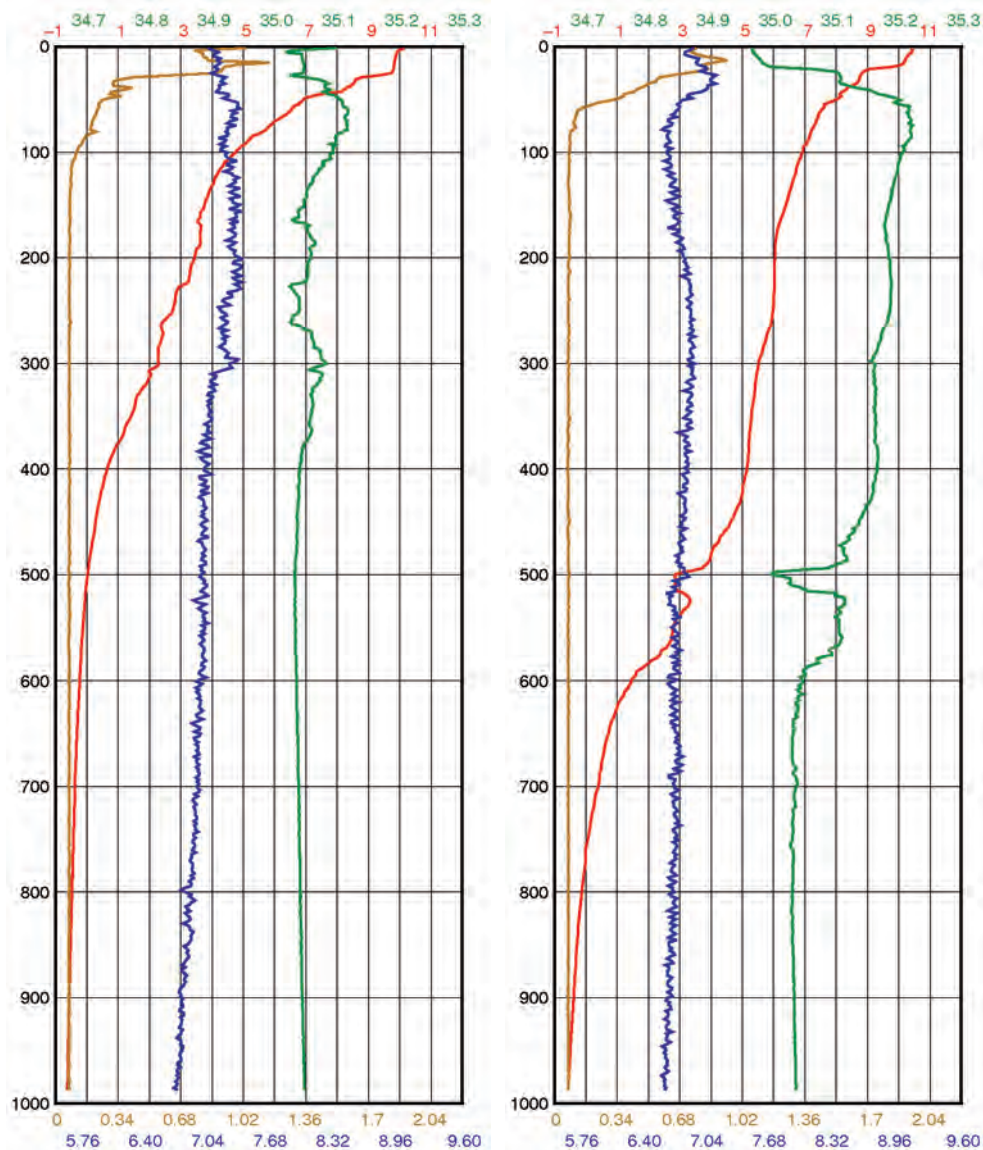


**Рисунок П2.5.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 9 (слева) и станции 10 (справа)

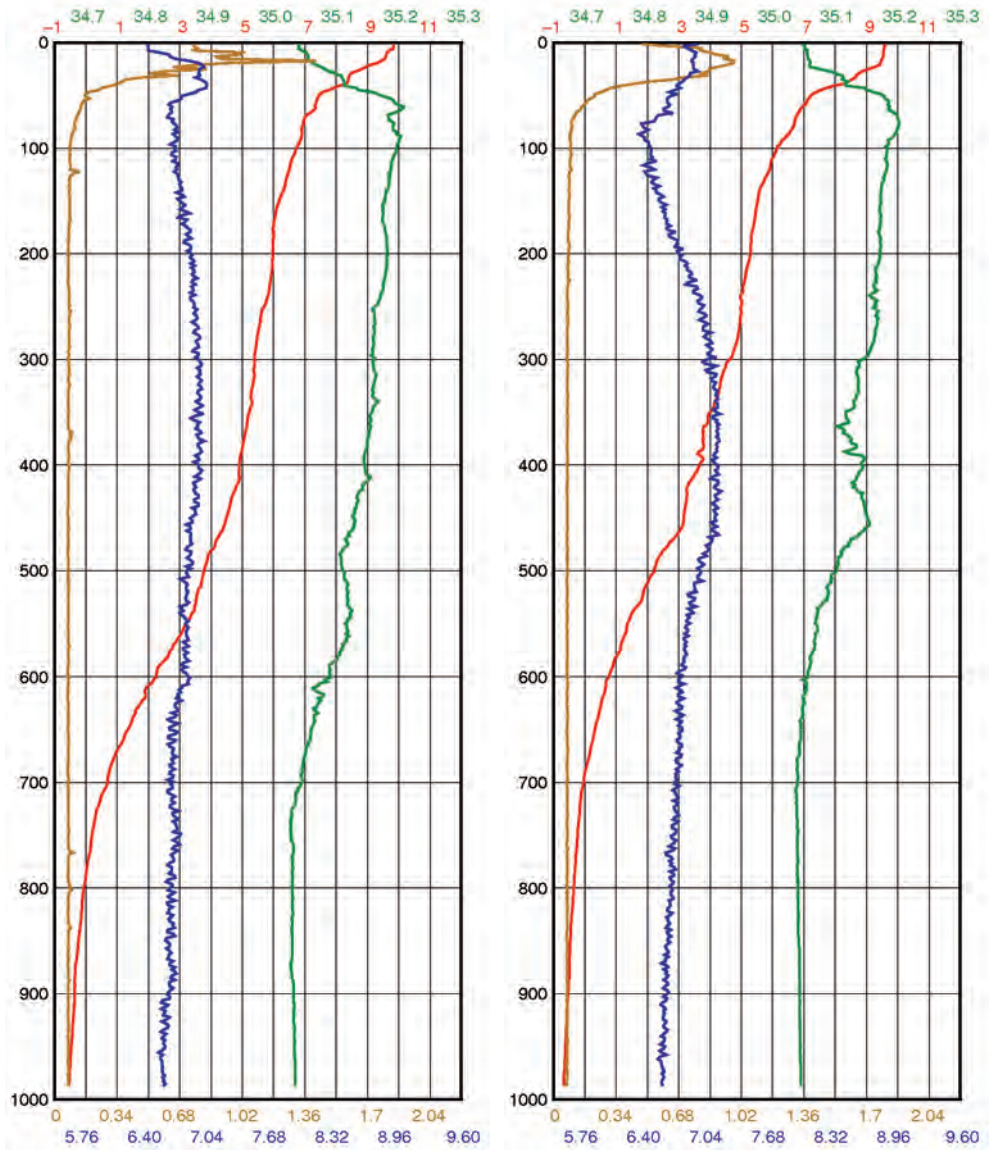




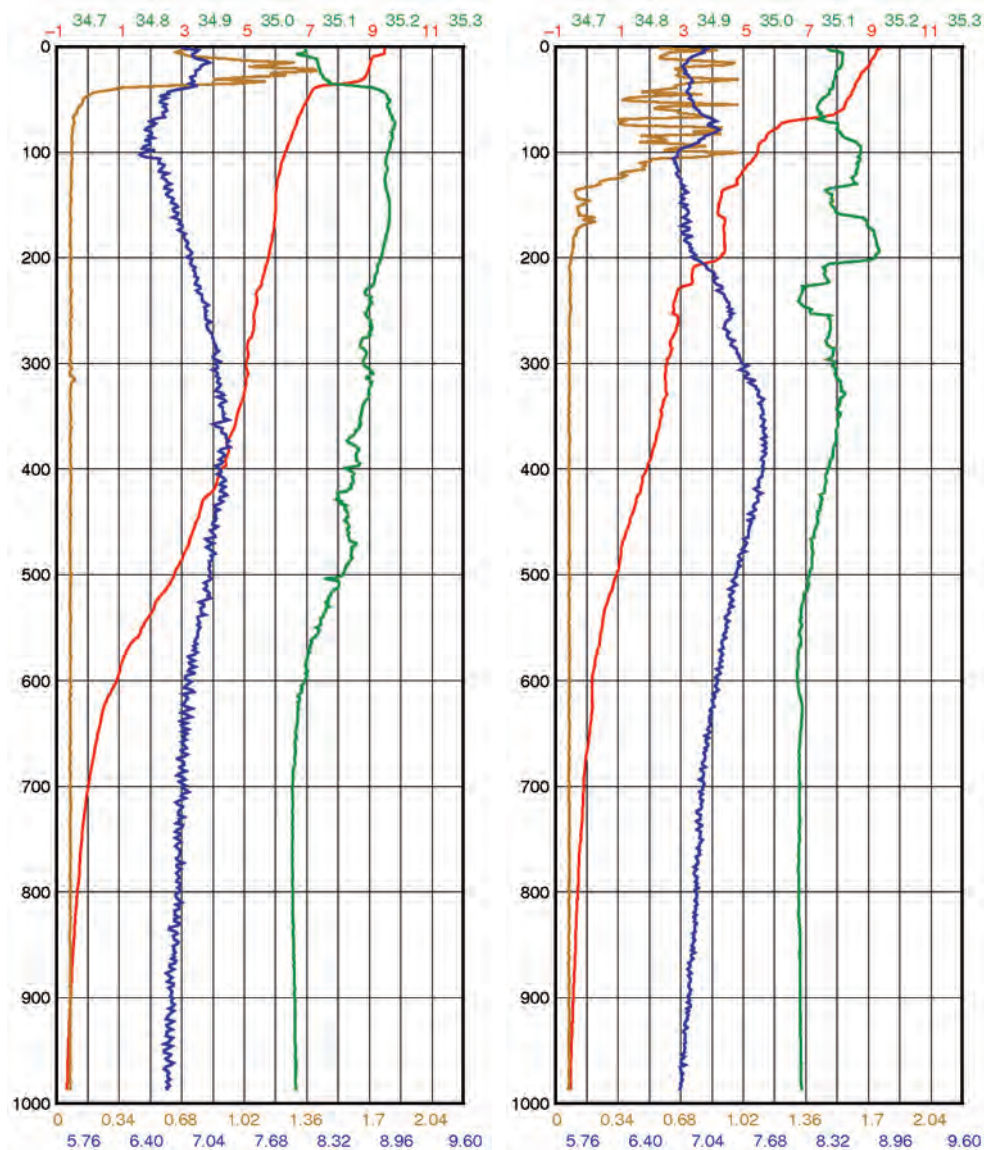
**Рисунок П2.6.** График зависимости температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) — красный; солёности ( $\text{‰}$ ) — зелёный; хлорофилла "а" ( $\text{мкг/л}$ ) — жёлтый; концентрации кислорода ( $\text{мл/л}$ ) — синий от глубины ( $\text{м}$ ) на станции 11 (слева) и станции 12 (справа)



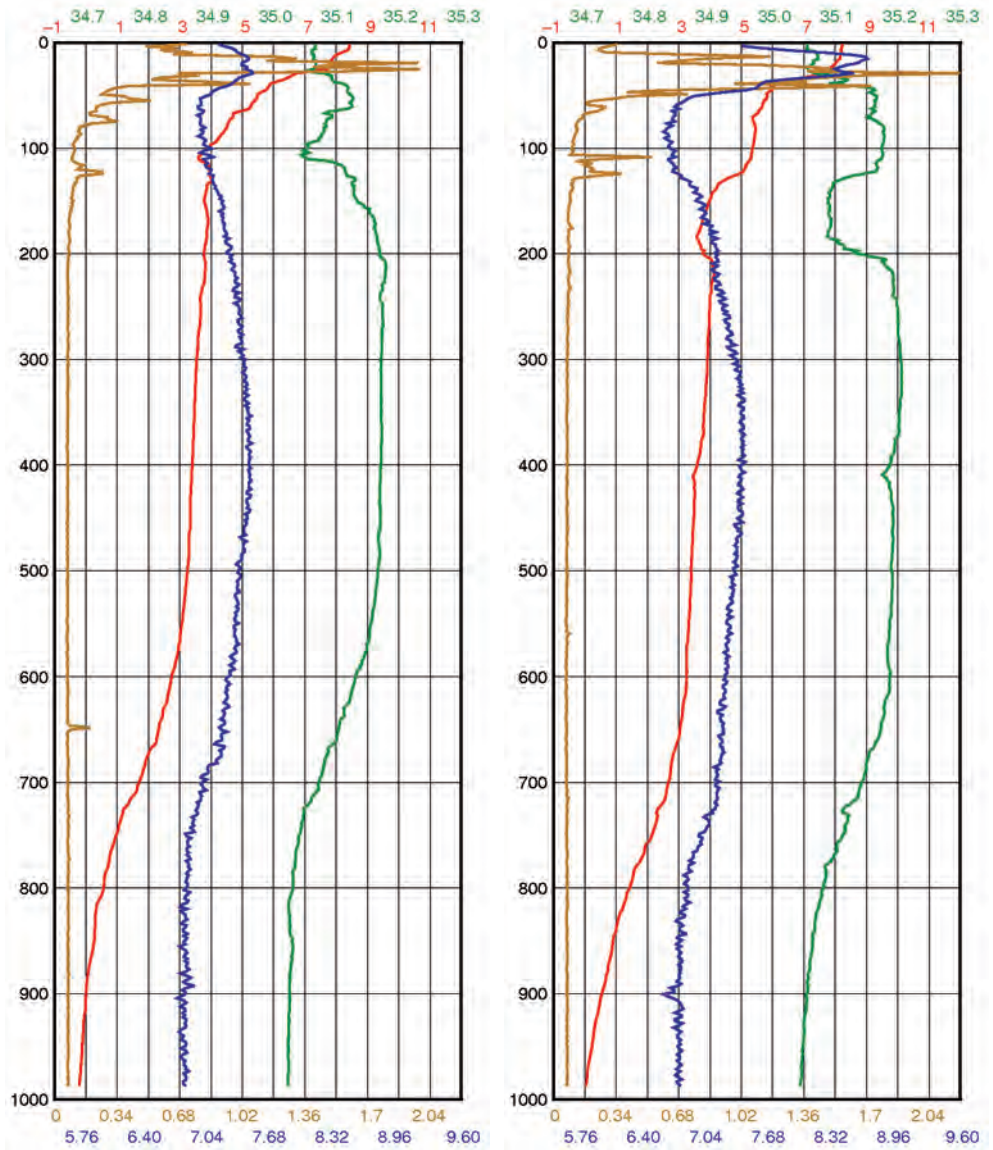
**Рисунок П2.7.** График зависимости температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 13 (слева) и станции 14 (справа).



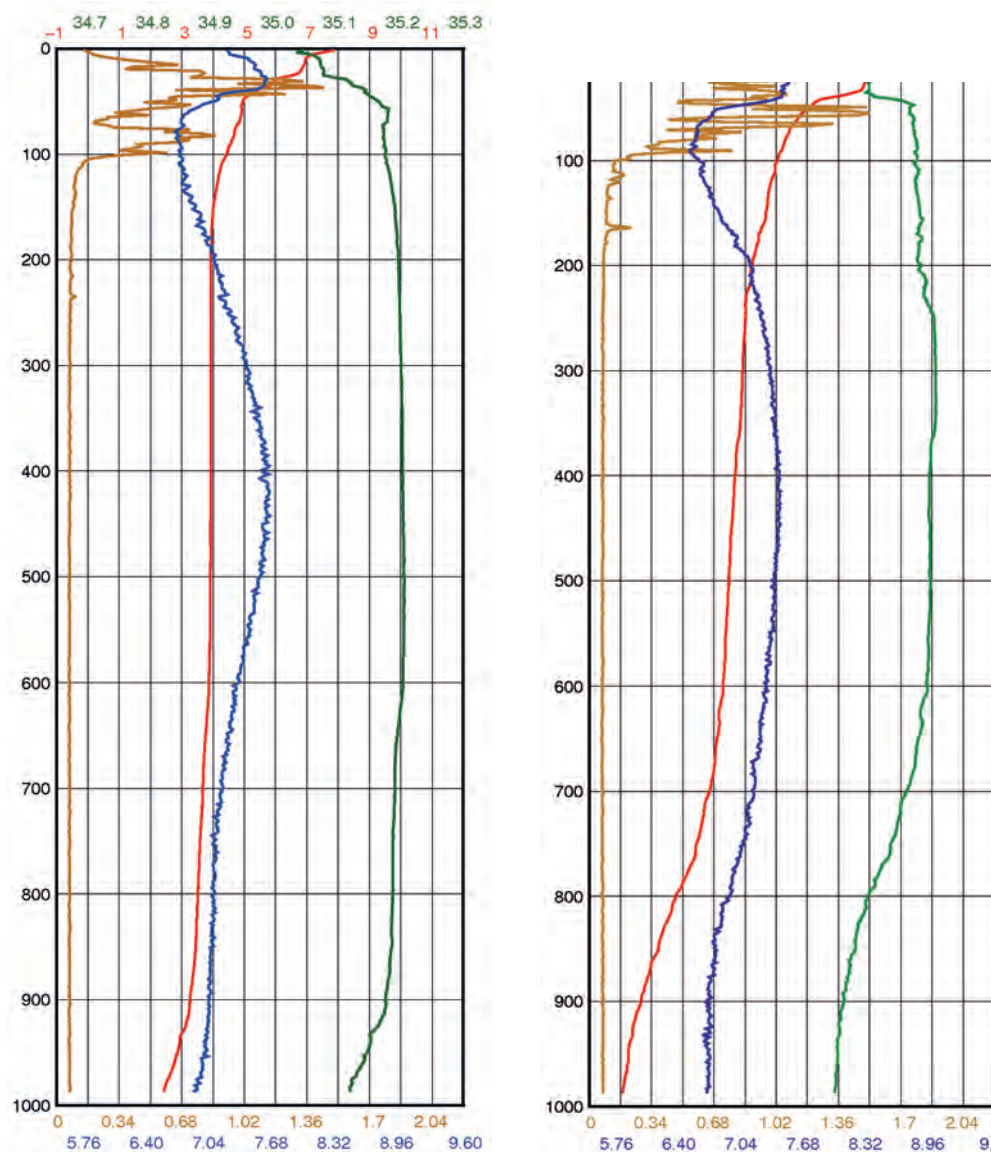
**Рисунок П2.8.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 15 (слева) и станции 16 (справа)



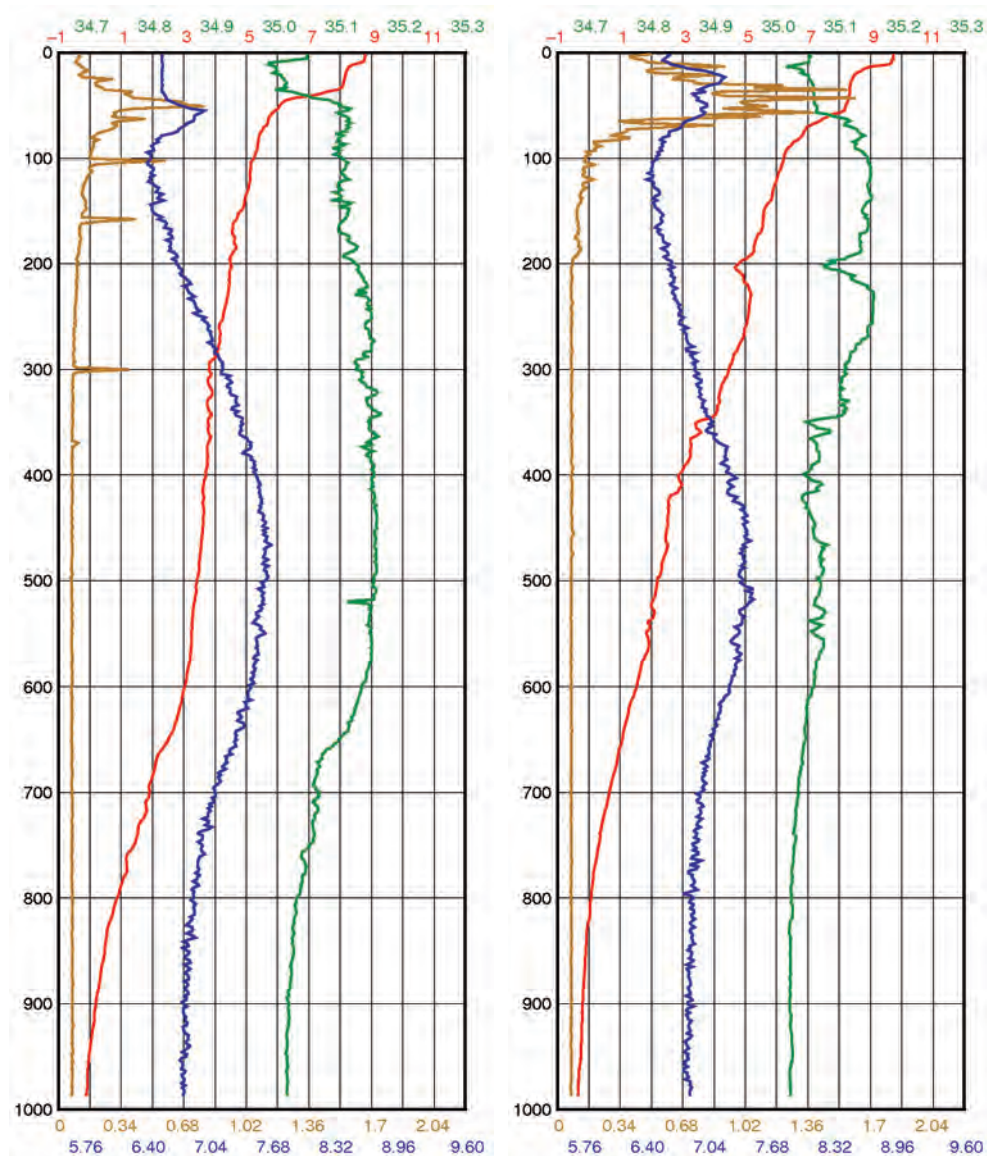
**Рисунок П2.9.** График зависимости температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 17 (слева) и станции 18 (справа)



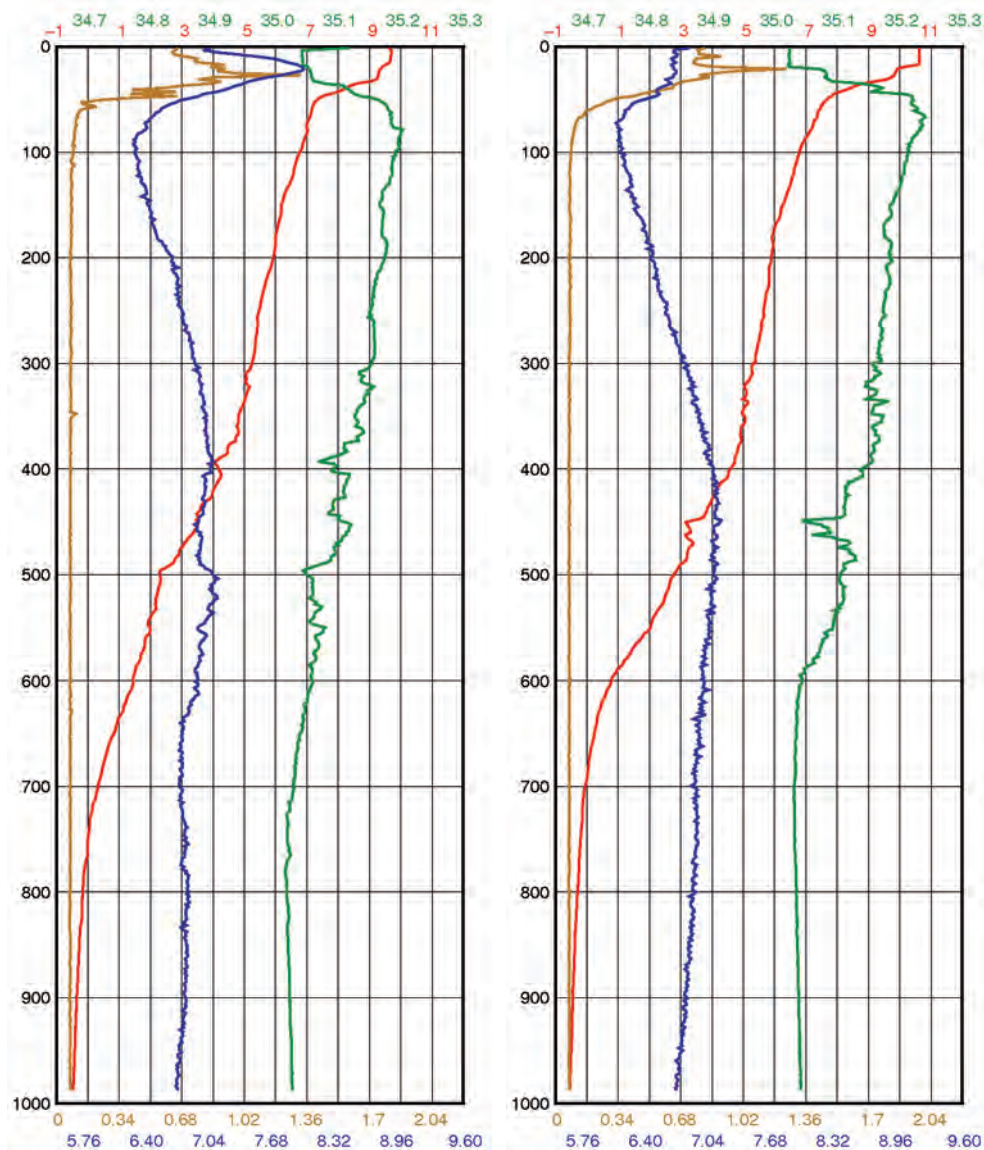
**Рисунок П2.10.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 19 (слева) и станции 20 (справа)



**Рисунок П2.11.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 21 (слева) и станции 22 (справа)

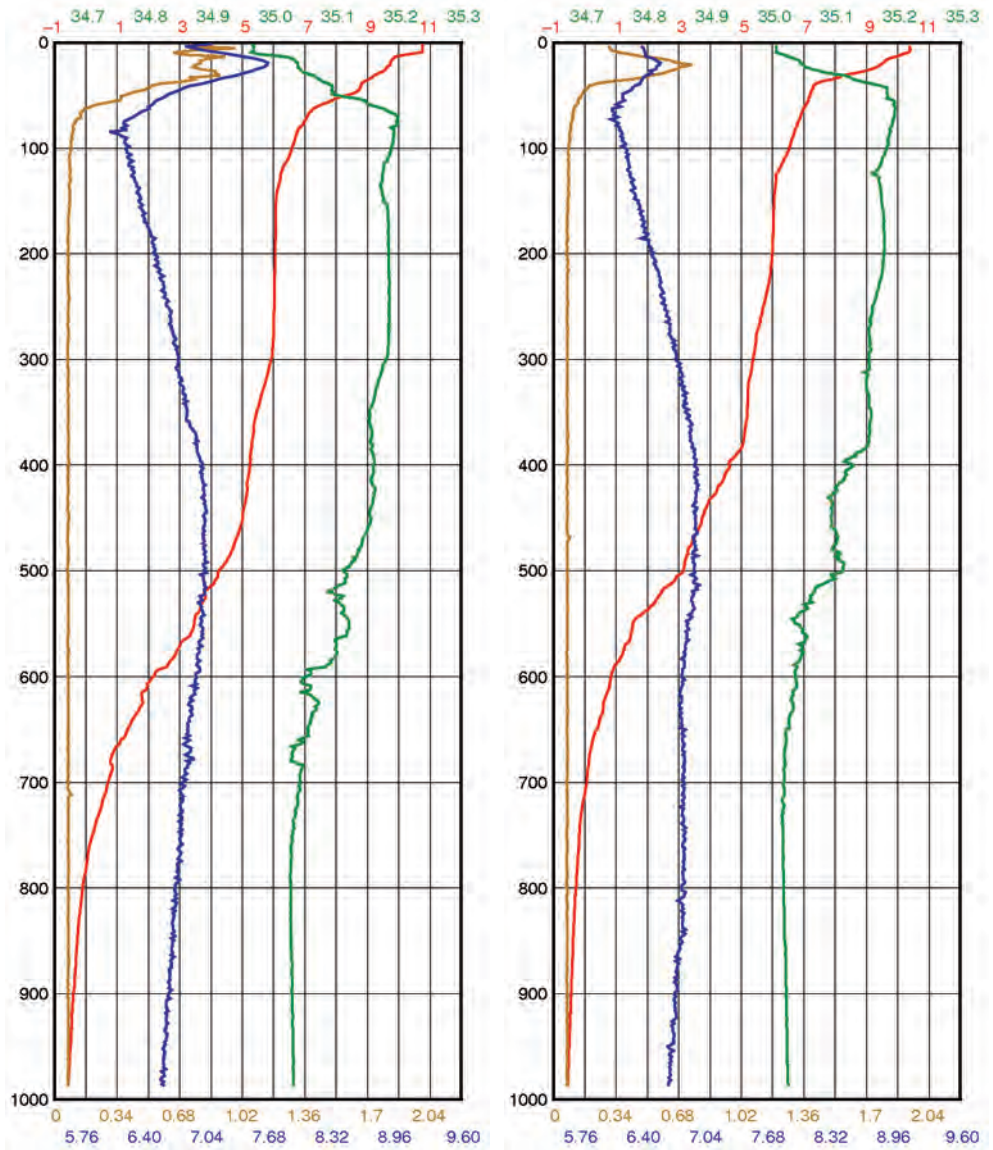


**Рисунок П2.12.** График зависимости температуры (°С) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла “а” (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 23 (слева) и станции 24 (справа)

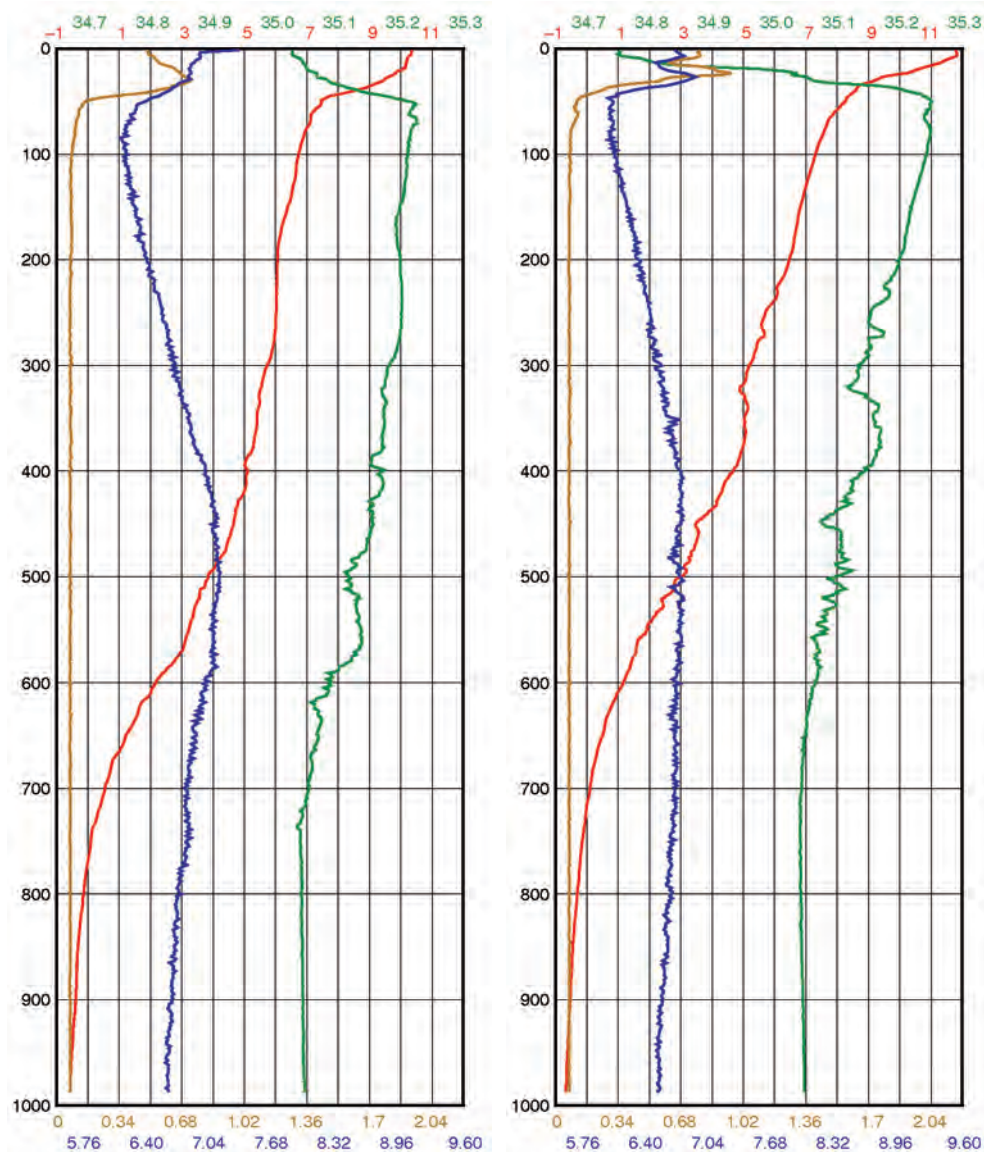


**Рисунок П2.13.** График зависимости температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) — красный; солёности ( $\text{‰}$ ) — зелёный; хлорофилла "а" ( $\text{мкг/л}$ ) — жёлтый; концентрации кислорода ( $\text{мл/л}$ ) — синий от глубины ( $\text{м}$ ) на станции 25 (слева) и станции 26 (справа)

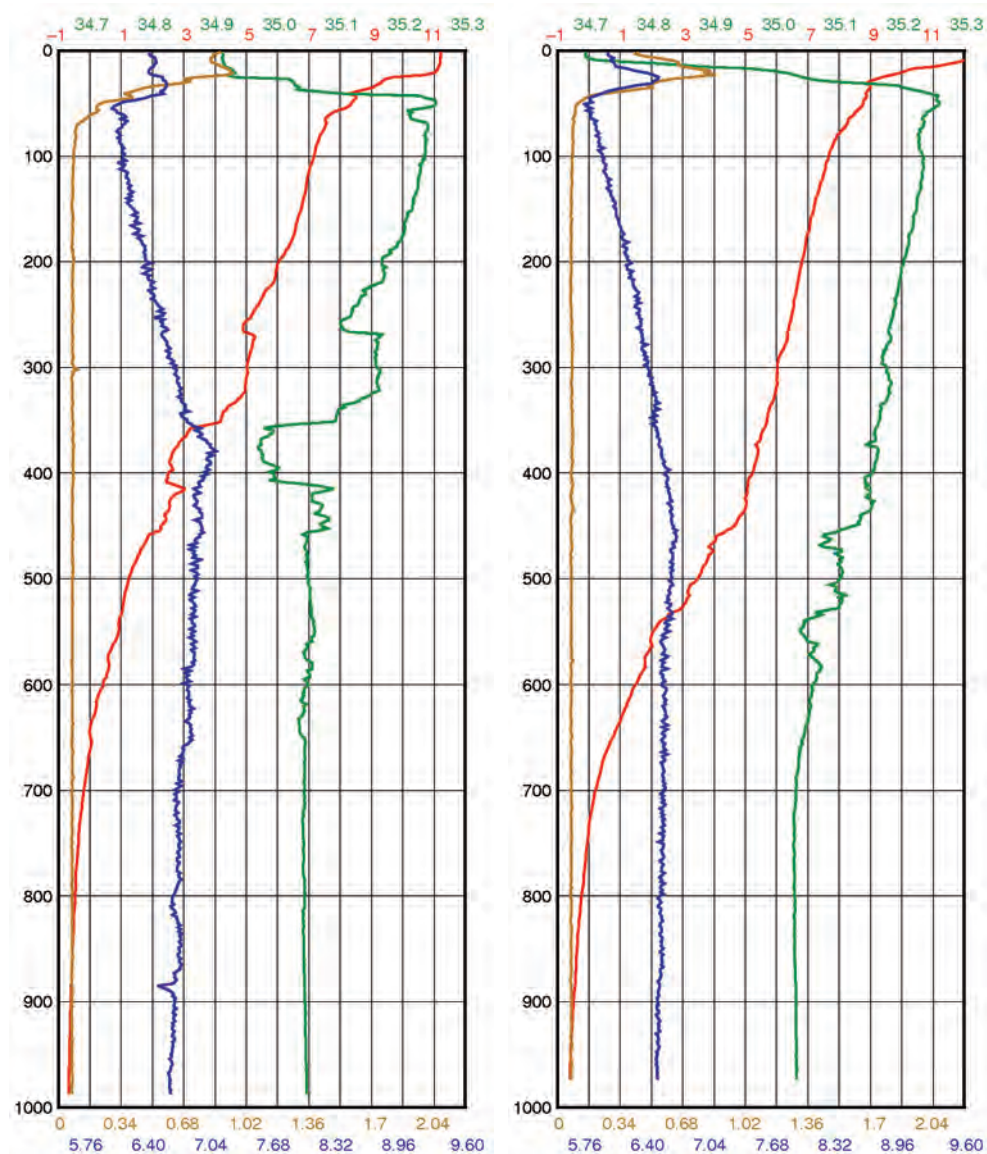




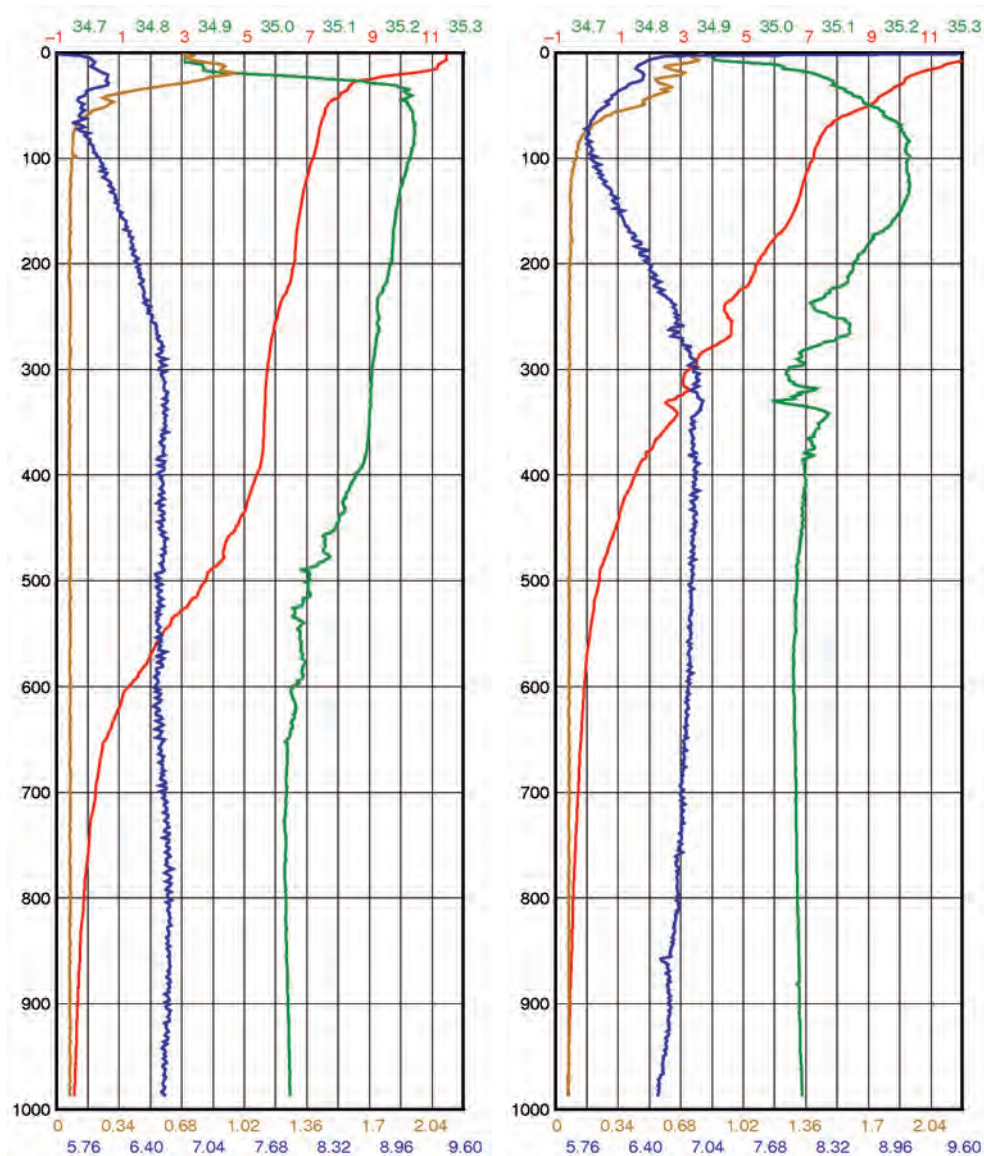
**Рисунок П2.14.** График зависимости температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) — красный; солёности ( $\text{‰}$ ) — зелёный; хлорофилла "а" ( $\text{мкг/л}$ ) — жёлтый; концентрации кислорода ( $\text{мл/л}$ ) — синий от глубины ( $\text{м}$ ) на станции 27 (слева) и станции 28 (справа)



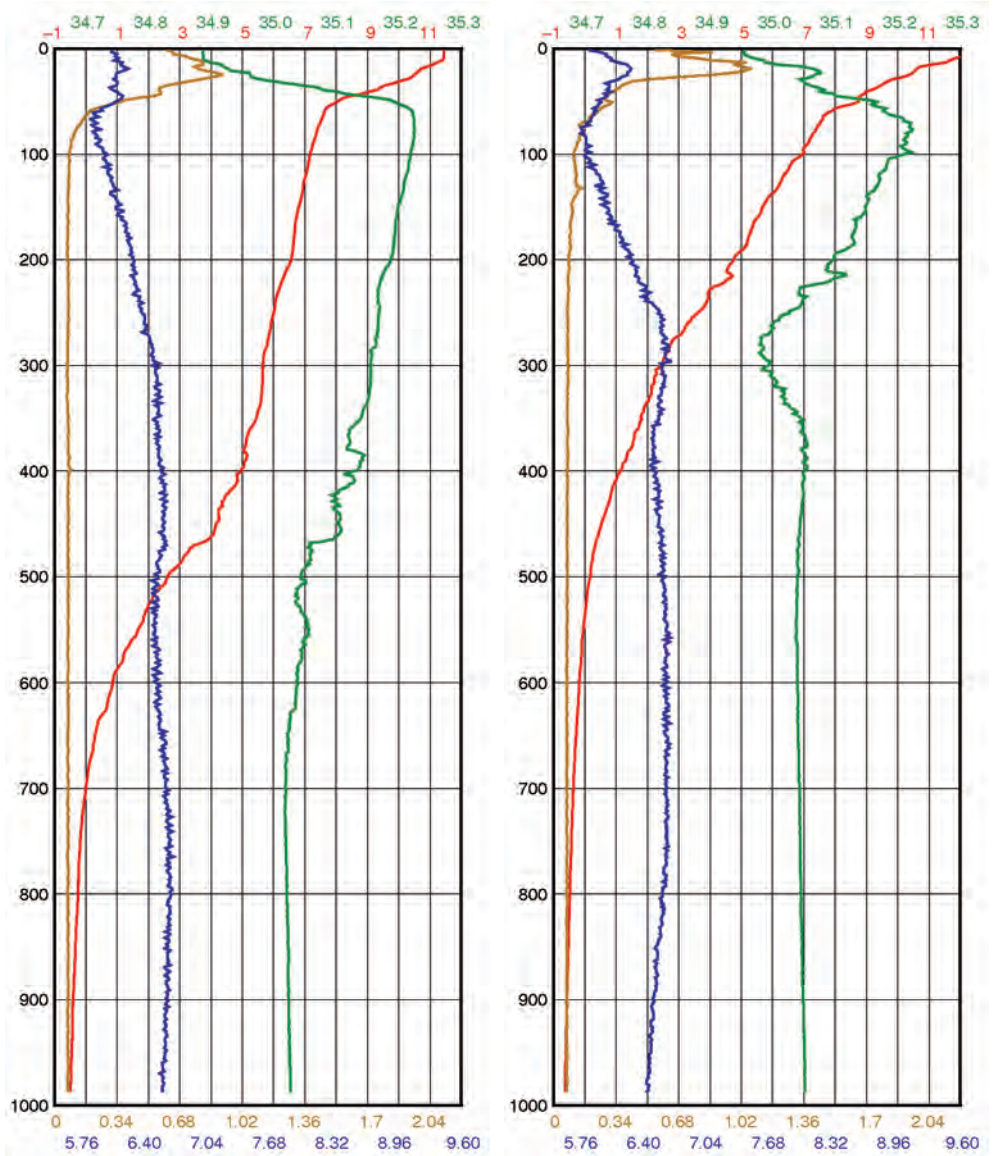
**Рисунок П2.15.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 29 (слева) и станции 30 (справа)



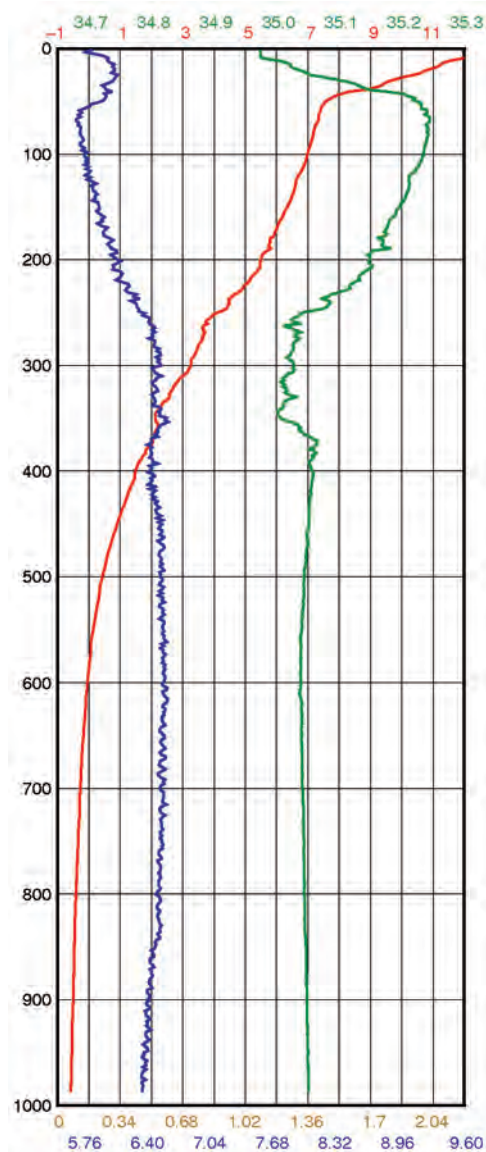
**Рисунок П2.16.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 31 (слева) и станции 32 (справа)



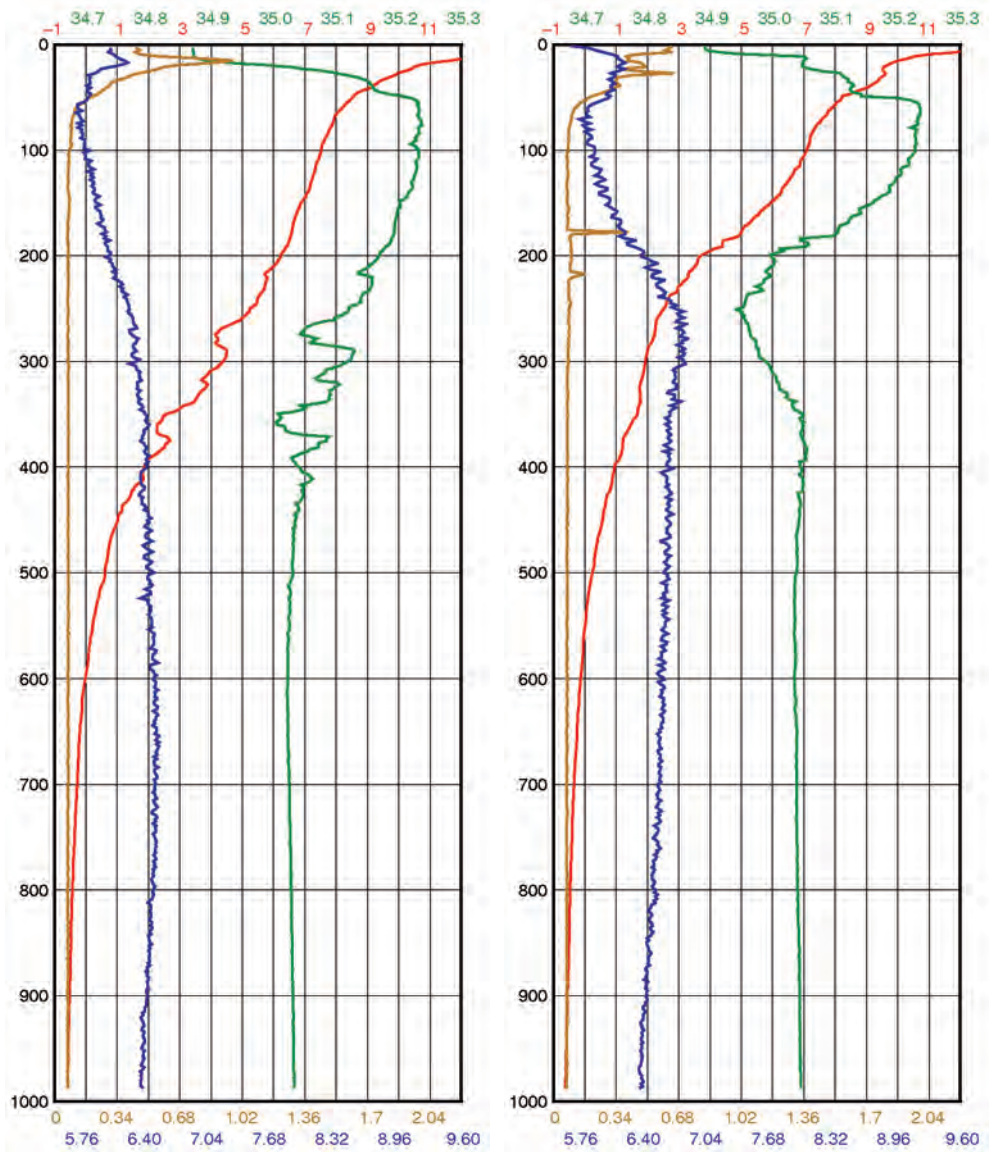
**Рисунок П2.17.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 33 (слева) и станции 34 (справа)



**Рисунок П2.18.** График зависимости температуры (°С) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 35 (слева) и станции 36 (справа)



**Рисунок П2.19.** График зависимости температуры (°C) — красный; солёности (‰) — зелёный; хлорофилла "а" (мкг/л) — жёлтый; концентрации кислорода (мл/л) — синий от глубины (м) на станции 38



**Рисунок П2.20.** График зависимости температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) — красный; солёности ( $\text{‰}$ ) — зелёный; хлорофилла "а" ( $\text{мкг/л}$ ) — жёлтый; концентрации кислорода ( $\text{мл/л}$ ) — синий от глубины ( $\text{м}$ ) на станции 39 (слева) и станции 40 (справа)

Подписано в печать 7.11.2018  
Формат 70×100/16  
Усл. печ.-л. 25.27  
Тираж 50  
Заказ 4173

Отпечатано в типографии  
ООО «ИИА «Пресс-Меню»  
Адрес: 129128, Москва, Малахитовая ул., 21  
Тел.: 8 (495) 500 7137